

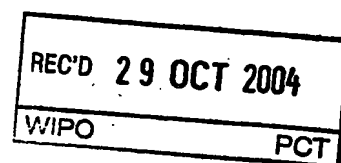


PCT/FR 2004/001373

15 OCT. 2004

# BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION



## COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 11 OCT. 2004

Pour le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété industrielle  
Le Chef du Département des brevets

**PRIORITY  
DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Martine PLANCHE



1er dépôt

**BREVET D'INVENTION  
CERTIFICAT D'UTILITÉ**

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI

**cerfa**  
N° 11354\*0126 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08  
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 94 86 54**REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 1/2**

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

08 540 W / J190600

<b>REMISE DES PIÈCES</b> DATE <b>6 JUIN 2003</b> LIEU <b>75 INPI PARIS</b> N° D'ENREGISTREMENT <b>0306838</b> NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE PAR L'INPI <b>- 6 JUIN 2003</b>		<b>1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE</b> <b>THE THIRD MILLENIUM WATER CO</b> <b>136 Boulevard Haussmann</b> <b>75008 - Paris -</b>	
<b>Vos références pour ce dossier (facultatif)</b>			
<b>Confirmation d'un dépôt par télécopie</b> <input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie			
<b>2 NATURE DE LA DEMANDE</b>		<b>Cochez l'une des 4 cases suivantes</b>	
Demande de brevet		<input type="checkbox"/>	
Demande de certificat d'utilité		<input type="checkbox"/>	
Demande divisionnaire		<input type="checkbox"/>	
Demande de brevet initiale		N°	Date <input type="text"/>
ou demande de certificat d'utilité initiale		N°	Date <input type="text"/>
Transformation d'une demande de brevet européen <i>Demande de brevet initiale</i>		<input type="checkbox"/>	Date <input type="text"/>
		N°	Date <input type="text"/>
<b>3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)</b> <b>PROCEDES ET APPAREILS DE DISTILLATION</b> <b>NOTAMMENT POUR PRODUIRE DE L'EAU DOUCE</b>			
<b>4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE</b>		Pays ou organisation Date <input type="text"/> N° Pays ou organisation Date <input type="text"/> N° Pays ou organisation Date <input type="text"/> N° <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
<b>5 DEMANDEUR</b>		<input type="checkbox"/> S'il y a d'autres demandeurs, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
Nom ou dénomination sociale		<b>THE THIRD MILLENIUM WATER COMPANY</b>	
Prénoms			
Forme juridique		<b>SOCIÉTÉ ANONYME</b>	
N° SIREN		<b>4.2.4.4.0.0.9.4.3</b>	
Code APE-NAF		<b>24.15</b>	
Adresse		<b>136 Boulevard Haussmann</b>	
Code postal et ville		<b>75008 Paris -</b>	
Pays		<b>FRANCE</b>	
Nationalité		<b>FRANÇAISE</b>	
N° de téléphone (facultatif)		<b>01-56-88-16-16</b>	
N° de télécopie (facultatif)			
Adresse électronique (facultatif)			



# BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 2/2

<b>REMISE DES PIÈCES</b> DATE <b>6 JUIN 2003</b> LIEU <b>75 INPI PARIS</b> N° D'ENREGISTREMENT <b>0306838</b> NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI		Réservé à l'INPI	DB 540 W / 190600
<b>Vos références pour ce dossier :</b> <i>(facultatif)</i>			
<b>6 MANDATAIRE</b> Nom Prénom Cabinet ou Société			
N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel			
Adresse Rue Code postal et ville N° de téléphone <i>(facultatif)</i> N° de télécopie <i>(facultatif)</i> Adresse électronique <i>(facultatif)</i>			
<b>7 INVENTEUR (S)</b> Les inventeurs sont les demandeurs			
<b>8 RAPPORT DE RECHERCHE</b>		Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)	
Établissement immédiat ou établissement différé		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Paiement échelonné de la redevance		Paiement en deux versements, uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non	
<b>9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES</b>		Uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention <i>(joindre un avis de non-imposition)</i> <input type="checkbox"/> Requête antérieurement à ce dépôt <i>(joindre une copie de la décision d'admission pour cette invention ou indiquer sa référence) :</i>	
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes			
<b>10 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE</b> (Nom et qualité du signataire)  Charles de POIX Président Directeur Général THE THIRD MILLENIUM WATER COMPANY		<b>VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI</b>  [Signature]	

PROCEDES ET APPAREILS DE DISTILLATION  
NOTAMMENT POUR PRODUIRE DE L'EAU DOUCE

5

La présente invention, due à la collaboration de Jean-Paul DOMEN et de Stéphane VIANNAY, concerne des perfectionnements à une invention antérieure du premier nommé, afférente à des procédés et appareils de distillation, décrits dans une demande de brevet international PCT, déposée par le demandeur et publiée le 20 décembre 2001 sous le N° WO 01/96244 A1. Cette demande PCT décrit un procédé général de  
10 distillation à multiple effet, destiné à séparer de leur solvant liquide des matières en solution, ainsi que deux procédés et alambics particuliers .

Ces procédés et appareils de distillation sont principalement destinés à produire de l'eau douce, aisément transformable en eau potable. Ils font appel à des sources chaudes à basse température, de types divers (chaudière usuelle, chaudière solaire ou radiateur de moteur thermique) et ils traitent la plupart des  
15 eaux non potables, telles que les eaux de mer, les eaux souterraines saumâtres ou les eaux de surface claires mais polluées. A cette application principale, s'ajoutent celles concernant la production de concentrés dans diverses industries, notamment alimentaires ou chimiques .

Selon le procédé général de distillation, objet de cette invention antérieure,

- des échanges thermiques à contre-courant sont effectués par un fluide caloporteur unique (gaz ou liquide)  
20 circulant en circuit fermé de haut en bas puis de bas en haut le long de surfaces, verticales ou inclinées, liées par une conductance thermique importante ;
- lesdites surfaces sont des faces de parois de plaques creuses d'échange thermique, à faible épaisseur interne, installées en grand nombre dans une chambre de traitement calorifugée, avec des espaces de séparation étroits, de largeur sensiblement constante, remplis d'un gaz incondensable, notamment d'air ;
- 25 - du liquide à distiller chaud s'écoule lentement en couches fines, de haut en bas des faces externes des parois des plaques d'échange thermique, à l'intérieur desquelles circule de haut en bas le fluide caloporteur ;
- le courant descendant de fluide caloporteur se refroidit au cours de son trajet, cependant que le liquide à distiller s'évapore et se refroidit et que la vapeur produite diffuse dans ledit gaz incondensable ;
- le courant ascendant de fluide caloporteur se réchauffe au cours de son trajet, sous l'effet d'une récupéra-  
30 tion de la chaleur latente de condensation d'une partie importante de la vapeur diffusée ;
- une source chaude est disposée entre les extrémités les plus chaudes desdites surfaces d'échange thermique et une source froide, abaissant d'une valeur appropriée la température du fluide caloporteur, disposée entre leurs extrémités les moins chaudes ;
- ladite chambre opérant à une pression totale sensiblement constante, la température et la pression partielle  
35 de vapeur diminuent continuellement de haut en bas de ces espaces .

Selon un premier procédé particulier de distillation dérivé de ce procédé général :

- le fluide caloporteur est un liquide ;
- les plaques creuses d'échange thermique sont chaudes ou froides et elles sont alternativement installées dans la chambre de traitement calorifugée ;
- 40 - le liquide caloporteur, initialement très chaud, descend en se refroidissant à l'intérieur des plaques chaudes tout en provoquant l'évaporation du liquide à distiller puis, après avoir été légèrement refroidi, il remonte en se

réchauffant, à l'intérieur des plaques froides tout en assurant une condensation de la vapeur diffusée dans le gaz incondensable ;

- les flux de chaleur traversent les parois de ces plaques ainsi que les couches immobiles de gaz incondensable qui les séparent ;

5 - la vapeur se condense sur les parois externes des plaques froides, le liquide distillé descend le long de leurs parois et le liquide concentré s'écoule le long des parois externes des plaques chaudes .

Selon un second procédé particulier de distillation dérivé de ce procédé général :

- le fluide caloporteur est ledit gaz incondensable, saturé en vapeur du liquide à distiller ;

- du liquide à distiller chaud, répandu en haut des faces externes des parois de toutes les plaques creuses d'échange thermique, s'étale et descend sur ces mêmes faces, en s'évaporant et en se refroidissant ;

10 - le gaz caloporteur, initialement chaud, circule en descendant et se refroidissant à l'intérieur de ces plaques creuses puis, après avoir été refroidi d'une valeur appropriée, en remontant et en se réchauffant dans les espaces qui les séparent ;

15 - les flux de chaleur traversent les parois de ces plaques creuses cependant que de la vapeur se condense sur les faces internes de ces parois ;

- le liquide distillé descend sur les faces internes des parois de ces plaques creuses, cependant que le liquide concentré s'écoule le long de leurs faces externes.

20 Pour la mise en œuvre de ces procédés de distillation, des éléments d'échange thermique creux et plats, en polymère (notamment en polypropylène), sont décrits dans cette demande PCT. Ces éléments sont des plaques rectangulaires creuses minces, de grandes dimensions (de 50 à 150 dm<sup>2</sup> généralement), à paroi fine, pourvue d'un revêtement hydrophile ou mouillable, soudé et/ou collé. Ils sont de deux types principaux : (1) feuilles souples avec conduits étroits, séparés par des lignes de soudure parallèles, et (2) panneaux alvéolaires rigides. Ces deux types de plaques creuses sont portés par une tringle plate, en appui sur des montants verticaux .

25 Dans la demande PCT visée plus haut, il est écrit page 21, lignes 2 à 7 : « La maximisation du coefficient de performance d'un appareil de distillation dont les paramètres sont fixes (...) ; impose que la différence de températures entre les débits d'eau chaude et moins chaude sortant de la chaudière et y entrant, soit aussi faible que possible, cependant que la différence de températures entre le haut et le bas des éléments d'échange thermique doit, au contraire, être aussi élevée que possible. »

30 Une telle affirmation est juste, mais comme on le verra plus loin, elle conduit à des conclusions simplistes et incomplètes. En effet, le coefficient de performance  $Cop$ , c'est-à-dire le rapport entre la puissance thermique échangée ( $Q$ ) et la puissance ( $P$ ), fournie par la chaudière, détermine également le prix de revient de l'énergie échangée et/ou de l'eau distillée, par l'intermédiaire de deux paramètres, à savoir, (1) le coût de l'énergie utilisée, lequel est inversement proportionnel au coefficient de performance  $Cop$  et (2) l'amortissement du prix de l'appareil qui, lui, est proportionnel au  $Cop$ , comme cela sera démontré ci-après.

35 Dans un échangeur thermique à contre-courant classique entre deux fluides à capacité calorifique ( $C_p$ ) constante, on désignera ci-après par  $T_1$ , la température du fluide caloporteur, à la sortie de la chaudière ou à l'entrée des surfaces chaudes de l'échangeur, par  $T_2$ , la température du fluide réchauffé à la sortie des surfaces froides, par  $T_3$ , la température du fluide caloporteur, à la sortie des surfaces chaudes, et par  $T_4$ , la température du fluide à réchauffer, à l'entrée des surfaces froides de l'échangeur. Et on désignera par  $dT$ , la différence de température qui existe de part et d'autre des surfaces chaudes et froides concernées. Si l'on

néglige les pertes thermiques de l'échangeur, les deux écarts de températures ( $T_3-T_4$ ) et ( $T_1-T_2$ ) sont en général tous deux égaux à  $dT$ .

On notera que de tels échangeurs ne peuvent fonctionner que dans une plage de températures imposées par la tenue au chaud et au froid des matériaux utilisés et par les diverses températures de changement d'état des fluides concernés. En conséquence, il existe une valeur maximale imposée pour l'écart ( $T_1-T_3$ ). Et c'est pour cette valeur maximale que la puissance échangée ( $Q$ ) prendra sa valeur maximale.

La puissance échangée ( $Q$ ) s'exprime de deux manières, suivant que l'on considère le fluide caloporteur ou l'échangeur. Dans le premier cas, cela donne  $Q = C_p.D.(T_1-T_3)$ , avec ( $C_p$ ), la capacité calorifique à pression constante du fluide caloporteur, (dans le cas de l'eau,  $C_p = 4,18$  joules, par gramme et par degré), et ( $D$ ), le débit massique circulant. Dans le second cas, on a la relation  $Q = k.V.dT$ , avec ( $k$ ), la conductance thermique d'un échangeur de volume actif unitaire et ( $V$ ), le volume actif de l'échangeur thermique. La conductance thermique ( $k$ ) d'un échangeur de volume unitaire se définit comme étant la puissance thermique en Watts, transmise à travers un échangeur d'un mètre cube de volume actif, en réponse à un écart de température d'un Kelvin. La dimension du terme ( $k$ ) est donc finalement  $W/K.m^3$ .

Dans le cas d'un échangeur thermique à contre-courant classique, on sait que le coefficient de performance  $COP = (T_1-T_3)/dT$ . Dans le cas d'un alambic à diffusion de vapeur, à contre-courant d'eau, le liquide caloporteur circule en circuit fermé, ce liquide entre dans la chaudière à une température  $T_2$  et en sort à  $T_1$ , de sorte que la puissance fournie par la chaudière est  $P = D.C_p.dT$ . Quant au coefficient de performance brut de l'échangeur à contre-courant, constitué par cet alambic, c'est-à-dire au rapport  $Q/P$ , sa valeur est également  $COP = (T_1-T_3)/dT$ .

Si maintenant on s'intéresse au produit de  $COP$  par ( $Q$ ), la puissance échangée, on constate que la valeur de la quantité [ $COP.Q$ ] caractérise les performances pratiques d'un échangeur thermique, lequel est d'autant plus performant que cette quantité est plus forte. Si, en outre, on divise cette même quantité par le volume actif ( $V$ ) de l'échangeur, on peut alors comparer deux échangeurs thermiques de volumes différents et définir leur Critère Intrinsèque d'Efficacité, lequel est défini par le terme  $CIE = COP.Q/V = Q^2/P.V = k(T_1-T_3)$ . Pour un échangeur thermique à contre-courant classique, la conductance thermique ( $k$ ) de l'échangeur et la capacité calorifique  $C_p$  des liquides concernés ont des valeurs constantes, indépendantes de la température  $T$  et de l'écart  $dT$ . En conséquence, le terme  $CIE$  passe par un maximum lorsque  $COP$  et  $Q$  sont elles-mêmes maximales, c'est-à-dire pour les valeurs extrêmes, haute et basse respectivement, imposées à  $T_1$  et à  $T_3$ , conformément à l'affirmation rappelée plus haut. Mais cela n'est pas du tout le cas pour les alambics à diffusion de vapeur.

En effet, dans les échangeurs thermiques à diffusion de vapeur, que sont les alambics selon l'invention antérieure, la conductance thermique de l'échangeur varie considérablement dans la plage théorique de température que l'appareil pourrait explorer, soit depuis 20 à 30°C, une plage des limites basses possibles de la source froide, constituée par le liquide froid à distiller entrant dans l'alambic, jusqu'à une valeur au plus égale à la température d'ébullition de ce même liquide. Cela provient du caractère quasi-exponentiel de la pression partielle de vapeur, exprimée en fonction de la température. En conséquence, dans le cas d'un alambic à diffusion de vapeur et contre-courant d'eau, le Critère Intrinsèque d'Efficacité de cet alambic  $CIE$ , ne présente pas son maximum pour la limite basse possible de  $T_3$ .

Pour pouvoir apporter un premier perfectionnement aux procédés de distillation visés plus haut, afin de déterminer puis d'obtenir la valeur optimale de la température  $T_3$ , à la sortie de plaques rectangulaires creuses d'échange thermique, souples (alvéole en lunule, paroi courbe) ou rigides (alvéole rectangulaire, paroi plane),

décrites dans la demande PCT visée plus haut, il est au préalable nécessaire d'établir la théorie quantitative des alambics à diffusion de vapeur. Cela, afin d'élaborer les lois physiques fondamentales qui les régissent. Pour ce faire, on va tout d'abord procéder à une analyse logique systématique du fonctionnement d'un alambic à diffusion de vapeur et contre-courant d'eau.

- 5 A cet effet, on va, pour un tel alambic utilisant de l'eau de mer comme fluide caloporteur, définir les deux types de paramètres concernés, à savoir, ceux de construction (figés à la sortie d'usine) et ceux d'utilisation, qui en déterminent le fonctionnement.

Les paramètres de construction sont les suivants :

- l'épaisseur moyenne (e) de l'eau dans les plaques,
- 10 - la forme des alvéoles, rectangulaires ou en lunules,
- l'épaisseur moyenne (a) de la lame d'air entre les plaques,
- la pas (2p) des plaques de même nature, chaude ou froide,,
- la hauteur (h) des plaques,
- le nombre (N) et la largeur (l) des plaques,
- 15 - le volume actif de l'échangeur  $V = p.N.l.h$ ,

Les paramètres d'utilisation sont à la disposition de l'utilisateur et ce sont les suivants :

- le débit (D) et la vitesse (v) de l'eau dans les plaques,
- le temps de transit (t) de l'eau dans les plaques, avec  $t = h/v$  et  $D = V.e/2p.t$ ,
- l'écart de température (dT) entre les fluides circulant dans les plaques chaudes et froides,
- 20 - la puissance thermique de la chaudière (P)
- la plage de température d'utilisation des plaques chaudes,  $T_1$  en haut et  $T_3$  en bas.

Compte-tenu des deux expressions visées plus haut, qui définissent la puissance thermique échangée entre les surfaces chaudes et froides concernées, à savoir celle  $Q = C_p.(T_1 - T_3).D$ , fournie par le fluide caloporteur et  $Q = k.V.dT$ , transmise par l'échangeur, on en déduit la relation suivante :  $t.dT = C_p.(T_1 - T_3).e/k$ .

- 25 Ce qui veut dire que ce terme (t.dT) prend une valeur déterminée dès lors que  $T_1$ ,  $T_3$  et k sont eux-mêmes déterminés. Il en résulte que l'épaisseur d'eau (e) et celle d'air (a) étant fixées par le constructeur, les valeurs à la disposition de l'utilisateur, à savoir, le temps de transit (t) et la différence de températures (dT) varient en sens inverses, dès lors que leur produit a une valeur déterminée choisie. En conséquence, le terme (t.dT) apparaît comme étant une variable composite, fonction, à la fois, de certains paramètres de construction, des
- 30 températures extrêmes  $T_1$  et  $T_3$  et de toutes les valeurs (T) intermédiaires. Il faut donc considérer (t.dT) comme la variable indépendante déterminante, à prendre en compte pour calculer la température du fluide caloporteur au cours de sa descente tout au long des surfaces chaudes d'échange thermique.

- A partir de ces relations physiques fondamentales qui régissent le fonctionnement des alambics à diffusion de vapeur et contre-courant d'eau, selon ladite invention antérieure, il devient possible d'optimiser ce
- 35 fonctionnement. Pour ce faire, on élabore un logiciel permettant de modéliser les transferts de masse et de chaleur qui se produisent tout au long des plaques creuses de ces alambics, l'interface entre les liquides montant et descendant étant la face extérieure des parois des plaques froides de condensation. Les plaques sont en polymère (polypropylène ou polycarbonate) et leur conductivité thermique est de 0,2 W/m.K. Le calcul concerne les températures qui apparaissent de haut en bas des surfaces chaudes de ces plaques, en fonction
- 40 de tous les paramètres concernés, à savoir la température  $T_1$ , les paramètres de construction et d'utilisation et les conductances thermiques visées plus haut. Ce calcul se fait pas à pas pour élaborer les courbes des températures des tranches de fluide caloporteur, en fonction de leur hauteur (h), mesurée de haut en bas des

plaques chaudes, c'est-à-dire des courbes  $T = f(h)$  correspondant à la valeur maximale naturelle de  $T_1$  et une valeur minimale naturelle possible (sans refroidissement artificiel) de  $T_3$  pour différentes valeurs choisies des paramètres de construction (e) et (a).

Avec de l'eau de mer comme fluide caloporteur, à capacité calorifique ( $C_p$ ) constante, on va maintenant, à l'aide du logiciel concerné, calculer tranche par tranche, tout au long des surfaces chaudes, la courbe de la température  $T = f(h)$  et celle de  $C_{IE} = g(h)$ , pour des plaques alvéolaires rigides à faces planes, présentant une épaisseur (e) de 3 mm et un pas (p) de 8,5 mm. Ces valeurs de (e) et de (p) sont celles des prototypes expérimentés.

La courbe A représentée sur la figure 1 ci-après  $T = f(h)$  a été calculée pour des plaques chaudes rigides, avec  $T_1 = 100^\circ\text{C}$  (à la limite de l'ébullition), une hauteur (h) de plaques de 100 cm, un pas (p) de plaques de 8,5 mm, avec une épaisseur interne d'eau (e) de 3 mm, une épaisseur de lame d'air (a) de 5 mm et une épaisseur totale de parois et de revêtements hydrophiles de 0,5 mm, une vitesse (v) de circulation d'eau de 0,5 mm/s et un écart de température (dT) de 5,5 K. En parallèle sur l'axe des (h) a été porté l'axe de la variable composite  $t.dT = dT.h/v$ . Pour la valeur  $T = 32^\circ\text{C}$ , qui correspond à une hauteur  $h = 100$  cm, le temps de transit  $t = 2.000$  s et la variable composite  $t.dT = 11.000$  K.s. Pour toute valeur intermédiaire de (T), la valeur correspondante de (t.dT) se déduit immédiatement.

Sur cette même figure 1 est également portée la courbe B qui représente la variation du Critère Intrinsèque d'Efficacité de distillation de l'alambic  $C_{IE} = C_{OP}.Q/V = Q^2/P.V$ , en fonction de la variable composite  $t.dT$  (ou de h), laquelle est liée à V par la relation précisée plus haut ( $V = p.N.I.h$ ). Ce critère  $C_{IE}$  est représentatif du produit du  $C_{OP}$  par le volume en mètres cubes d'eau douce, distillée par jour et par mètre cubé de volume actif d'alambic. Dans le cas présent, la plage des variations possibles de ce critère s'établit de 0 à 18. La courbe B présente un maximum pour une valeur de la variable composite  $t.dT$  égal à 2.950 K.s qui correspond à une valeur de  $T_3$  égale à  $68,5^\circ\text{C}$  et un  $C_{IE}$  de 17,8. Les plages de valeurs optimales pour  $t.dT$  et  $T_3$  se déduisent des courbes de la figure 1, soit : 2200 à 3700 K.s et  $64$  à  $74^\circ\text{C}$ . Ces plages de valeurs optimales varient peu lorsque le rapport e/p demeure constant, le maximum de  $C_{IE}$  étant quant à lui d'autant plus élevé que les paramètres (e) et (p) ont leurs valeurs minimales. En conséquence, pour une valeur particulière  $dT = 3,5$  K, le temps de transit du liquide caloporteur dans une plaque doit être  $t = 842$  s et la vitesse de circulation de l'eau de  $h/842$  m/s. Dans ces conditions,  $C_{OP}=9$  et le terme  $Q/V$  sera sensiblement égal à 2. Pour un  $dT=7$  K, le  $C_{OP}$  sera de 4,5 et le rapport  $Q/V$  de 4, la vitesse de circulation de l'eau étant de  $h/421$  m/s. Comme  $C_{OP} = Q/P$ , ce terme est inversement proportionnel au coût de l'énergie utilisée. Quant au rapport  $Q/V$ , il est inversement proportionnel au volume (V) et donc au nombre de plaques installées pour obtenir une production journalière déterminée (Q). Comme on peut également écrire  $Q/V = C_{IE}/C_{OP}$ , lorsque le prix de l'énergie sur le lieu d'exploitation est élevé (énergies fossiles ou électricité), on choisira une valeur élevée pour  $C_{OP}$ . Et, dans le cas où cette énergie est bon marché (solaire ou co-génération à partir du liquide de refroidissement ou des gaz d'échappement des moteurs thermiques), on choisira un  $C_{OP}$  plus faible et donc un investissement limité (moins de plaques d'échange thermique). On notera que ces variations en sens inverses permettent d'obtenir un maximum d'efficacité lorsque le prix de l'énergie est égal à l'amortissement de l'investissement rapporté au volume total d'eau distillée, produite sur la durée de cet amortissement.

Lorsque des plaques souples, composées de conduits parallèles, à section en forme de lunules, sont utilisées, les deux courbes A et B de la figure 1 sont un peu différentes : la courbe A,  $T = f(h)$ , a sensiblement la même forme mais la courbe B,  $C_{IE} = f(t.dT)$ , présente un maximum nettement moins accusé d'une valeur de 9 environ au lieu de 18. Des résultats comparables sont obtenus pour les deux types de plaques creuses



(rigides et souples), lorsque la température  $T_1$  est notablement inférieure à la température optimale indiquée plus haut (100°C), soit 85°C par exemple.

On va maintenant s'intéresser au procédé de distillation à diffusion de vapeur et contre-courant d'air saturé en vapeur. Les paramètres de construction et d'utilisation, visés plus haut pour un procédé de distillation à contre-courant d'eau, sont repris dans le cas présent. En revanche, la capacité calorifique apparente ( $C_p$ ) de l'air saturé en vapeur augmentant énormément en fonction de la température, l'écart de température entre les faces interne et externe des plaques varie en sens inverse. Dans ces conditions, s'il est simple, pour un alambic à diffusion de vapeur et contre-courant d'eau, d'exprimer la puissance thermique appliquée entre les surfaces d'échange thermique en fonction de  $dT$  seulement, puisque  $C_p$  est alors constant, dans le cas d'un alambic à diffusion de vapeur et contre-courant d'air, il devient nécessaire de revenir à la puissance thermique appliquée entre les faces internes et externes des plaques creuses. Cette puissance s'exprime par l'écart d'enthalpie  $dH = D.C_p.t.dT$  (en joules) entre les faces de ces mêmes plaques, cet écart  $dH$  restant constant pour un échange thermique parfait. A cet égard, on rappellera que la capacité calorifique  $C_p$  de l'air sec a une valeur constante de 1000 joules/kg/K mais que, en revanche, la capacité calorifique apparente  $C_p$  de l'air chaud saturé en vapeur est de 740 kilojoules/kg/K entre 91 et 92 °C et seulement de 16,4 kilojoules/kg/K en moyenne entre 24 et 45°C. Pour ces trois valeurs de  $C_p$ , l'unité de masse concernée est celle de l'air sec. Par ailleurs, dans le cas d'un alambic à contre-courant d'air, on notera que l'interface entre les flux montant et descendant est la surface libre de la saumure.

A partir de ces constatations de base, afférentes à un alambic à diffusion de vapeur et contre-courant d'air, un second logiciel a été développé qui permet de calculer les profils des températures le long des parois interne et externe de plaques creuses rigides en polymère. En partant des températures en haut des plaques  $T_1 = 92^\circ\text{C}$  et  $T_2 = 91^\circ\text{C}$ , le calcul a été arrêté pour une température  $T_4$  au bas des espaces inter-plaques, compatible avec celle des sources froides naturelles disponibles (20 à 30°C, par exemple). La courbe C représente  $T = f(h)$  le long des faces externes froides des plaques et la courbe A, l'évolution de T, le long des faces internes chaudes. Pour ce qui concerne cette courbe C, on notera qu'elle n'apparaît pas sur la figure 1, puisqu'elle se déduirait de la courbe A, par un simple décalage  $dT$  constant (aux pertes près). En revanche sur la figure 2, cette courbe C se distingue nettement de la courbe A. En effet, contrairement à la courbe A de la fig. 1, obtenue pour un alambic à contre-courant d'eau, la courbe A de la fig.2, calculée pour un alambic à contre-courant d'air, présente une concavité très forte, dirigée vers le haut des plaques. Ce qui veut dire que les échanges thermiques par diffusion de vapeur, dans le cas d'un alambic à contre-courant d'air, sont beaucoup plus importants vers les basses températures que vers les hautes. Dans ces conditions, la recherche du maximum de  $C_{IE}$  se fait à partir des basses températures. La courbe B de la figure 2 représente l'évolution de  $C_{IE}$  en fonction de la variable composite  $t.dH/V$  (en kilojoules par  $\text{m}^3$ ) à retenir dans le cas d'un alambic à contre-courant d'air. Le maximum de  $C_{IE}$  correspond à des températures  $T_1$  d'environ 85°C et  $T_2$  d'environ 80°C, en haut des plaques, à une valeur  $T_3$  de 68°C, en bas des plaques, à une valeur  $T_4 = 30^\circ\text{C}$ , en bas des espaces inter-plaques, à une valeur de  $(t.dH/V)$  de 382 kilojoules/ $\text{m}^3$  et à un  $C_{IE}$ , défini par  $C_{OP}.Q/V$  ou  $Q^2/P.V$ , de 93  $\text{m}^3$  d'eau douce par jour et par  $\text{m}^3$  actif d'alambic. En pratique, la valeur optimale du  $C_{IE}$  est située dans l'intervalle 300 à 450 kilojoules/ $\text{m}^3$  et la valeur optimale correspondante de  $T_1$ , située dans la plage 77 à 84°C. Ces résultats ont été obtenus pour une épaisseur interne (e) des plaques creuses de 2 mm, une épaisseur de paroi et de film d'eau de 0,6 mm et un pas (p) de 4,6 mm. Ces plages de valeurs optimales varient peu lorsque le rapport  $e/p$  demeure sensiblement constant, le maximum de  $C_{IE}$  étant quant à lui d'autant plus élevé que les paramètres (e), (a) et (p) ont leurs valeurs minimales, imposées par la pratique.

Ces résultats démontrent l'intérêt exceptionnel que présente un alambic à diffusion de vapeur et contre-courant d'air, par rapport à un autre à contre-courant d'eau, lequel est pourtant très intéressant.

5 Le premier objet de la présente invention concerne les perfectionnements, à apporter au procédé général de distillation à diffusion de vapeur, décrit dans ladite invention antérieure, qui découlent des lois physiques régissant le fonctionnement des alambics mettant en œuvre ce procédé.

Le deuxième objet de l'invention concerne des perfectionnements, résultant des lois physiques en question, à apporter au procédé et appareil particuliers de distillation à diffusion de vapeur, dans lesquels le fluide caloporteur est le liquide à distiller.

10 Le troisième objet de l'invention concerne des perfectionnements, résultant des lois physiques en question, à apporter au procédé et appareil particuliers de distillation à diffusion de vapeur, dans lesquels le fluide caloporteur est le gaz incondensable, saturé en vapeur du liquide à distiller.

Le quatrième objet de l'invention concerne un alambic à diffusion de vapeur, dans lequel les échangeurs thermiques simples utilisés ont une architecture nouvelle, compacte et à faible coût.

15 Le cinquième objet de l'invention concerne un échangeur thermique, de type compact à faible coût, adapté aux nécessités d'un alambic à diffusion de vapeur et gaz caloporteur.

Le sixième objet de l'invention concerne les moyens de connecter en toute sécurité des éléments d'échange thermique creux et plats, à leurs conduits d'entrée et de sortie de fluide caloporteur.

20 Le septième objet de l'invention concerne les moyens de répandre efficacement et en toute sécurité le liquide à distiller sur les parois extérieures des plaques creuses d'échange thermique.

Selon un perfectionnement de ladite invention antérieure, un procédé général de distillation à multiple effet, destiné à séparer de leur solvant liquide des matières en solution, dans lequel :

- des échanges thermiques à contre-courant sont effectués par un fluide caloporteur unique (gaz ou liquide) circulant en circuit fermé de haut en bas puis de bas en haut le long de surfaces, verticales ou inclinées, liées par une conductance thermique importante ;
- lesdites surfaces sont des faces de parois de plaques creuses d'échange thermique, à faible épaisseur interne, installées en grand nombre dans une chambre de traitement calorifugée, avec des espaces de séparation étroits, de largeur sensiblement constante, remplis d'un gaz incondensable, notamment d'air ;
- 30 - du liquide à distiller chaud s'écoule lentement en couches fines, de haut en bas des faces externes des parois des plaques d'échange thermique, à l'intérieur desquelles circule de haut en bas le fluide caloporteur ;
- le courant descendant de fluide caloporteur se refroidit au cours de son trajet, cependant que le liquide à distiller s'évapore et se refroidit et que la vapeur produite diffuse dans ledit gaz incondensable ;
- le courant ascendant de fluide caloporteur se réchauffe au cours de son trajet, sous l'effet d'une récupération de la chaleur latente de condensation d'une partie importante de la vapeur diffusée ;
- 35 - une source chaude est disposée entre les extrémités les plus chaudes desdites surfaces d'échange thermique et une source froide, abaissant d'une valeur appropriée la température du fluide caloporteur, disposée entre leurs extrémités les moins chaudes ;
- ladite chambre opérant à une pression totale sensiblement constante, la température et la pression partielle de vapeur diminuent continuellement de haut en bas de ces espaces ;
- 40 - est caractérisé en ce que :
  - un écart d'enthalpie (dH) sensiblement constant est établi entre lesdites surfaces d'échange thermique ;

- les températures du fluide caloporteur ( $T_1$ ,  $T_2$  et  $T_3$ ,  $T_4$ ) aux extrémités hautes et basses de ces surfaces, sont déterminées à partir du maximum du Critère Intrinsèque d'Efficacité  $C_{IE}$  du système, avec  $C_{IE} = Q^2/P.V$ , dans lequel ( $Q$ ) est la puissance thermique de distillation échangée, ( $P$ ), la puissance thermique fournie par la source chaude et ( $V$ ), le volume actif du système.

5 Grâce à ces dispositions, le procédé général de distillation à diffusion de vapeur, utilisant des fluides caloporteurs liquide ou gazeux, décrit dans ladite invention antérieure, est optimisé en plusieurs étapes relativement simples à mettre en œuvre. Cela, en application des conclusions de la modélisation mathématique des phénomènes particuliers d'échange thermique, existant dans les alambics à diffusion de vapeur selon l'invention, ces conclusions étant représentées par les courbes des figures 1 et 2 commentées ci-

10 dessus.

Selon l'invention, un premier procédé particulier de distillation à diffusion de vapeur, notamment pour produire de l'eau douce, conforme au procédé général perfectionné défini ci-dessus, dans lequel :

- le fluide caloporteur est le liquide à distiller ;

15 - les plaques creuses d'échange thermique sont chaudes ou froides et elles sont alternativement installées dans la chambre de traitement calorifugée ;

- le liquide caloporteur, initialement très chaud, à la température  $T_1$ , descend, en se refroidissant jusqu'à la température  $T_3$ , à l'intérieur des plaques chaudes tout en provoquant l'évaporation du liquide à distiller puis, après avoir été légèrement refroidi jusqu'à la température  $T_4$ , il remonte en se réchauffant, jusqu'à la température  $T_2$  à l'intérieur des plaques froides, tout en assurant une condensation de la vapeur diffusée dans

20 le gaz incondensable ;

- les flux de chaleur traversent les parois de ces plaques ainsi que les couches immobiles de gaz incondensable qui les séparent, les écarts de température ( $T_1 - T_2$ ) et ( $T_3 - T_4$ ) demeurent faibles et sensiblement constants ;

25 - la vapeur se condense sur les parois externes des plaques froides, le liquide distillé descend le long de leurs parois et le liquide concentré s'écoule le long des parois externes des plaques chaudes ;

- est caractérisé en ce que :

- la température optimale  $T_1$  du liquide caloporteur, en haut des plaques chaudes, est aussi peu que possible inférieure à la température d'ébullition de ce liquide, à la pression atmosphérique ;

30 - la température optimale  $T_3$  du liquide caloporteur, en bas des plaques chaudes, est relativement élevée et située dans une plage qui correspond à une zone entourant le maximum du Critère Intrinsèque d'Efficacité  $C_{IE}$  du système.

Selon des caractéristiques complémentaires de ce procédé de distillation, à diffusion de vapeur et liquide caloporteur,

35 - la correspondance, entre la plage optimale des températures  $T_3$  et le maximum de  $C_{IE}$ , est réalisée par l'intermédiaire de leurs relations respectives avec une variable composite ( $t.dT$ ), dans laquelle ( $t$ ) est le temps de transit du liquide caloporteur dans les plaques et ( $dT$ ), l'écart de température entre les liquides circulant dans les plaques froides et chaudes ;

- la plage optimale des températures  $T_3$  est l'intervalle 64-74°C;

40 - l'écart optimal de température ( $dT$ ) est établi par un ajustement du rapport entre la puissance de chauffe de la source chaude et le débit massique ( $D$ ) de liquide caloporteur circulant ;

- la valeur optimale choisie pour ( $dT$ ) est relativement élevée lorsque le coût unitaire de l'énergie thermique, aisément disponible sur le lieu de mise en œuvre du procédé, est relativement faible ;

- le temps de transit optimal ( $t$ ) du fluide caloporteur dans les plaques d'échange thermique est établi par ajustement du débit massique ( $D$ ) du liquide caloporteur circulant.

Selon d'autres caractéristiques complémentaires de ce procédé de distillation, à diffusion de vapeur et liquide caloporteur,

- 5 - un échange thermique approprié, de préférence à contre-courant, est effectué entre la totalité du débit de liquide à distiller entrant et les deux débits de liquides, distillé et concentré, sortant de l'appareil, de manière à porter la température de ce débit entrant à une valeur intermédiaire optimale, relativement élevée ;
- un mélange est effectué entre ce débit entrant ainsi réchauffé et le liquide caloporteur sortant des plaques chaudes, de manière à faire prendre au liquide caloporteur entrant dans les plaques froides, ladite température optimale relativement élevée  $T_3$ , correspondant à la zone entourant le maximum du  $C_{IE}$ .

Grâce à ces dispositions, le procédé de distillation à diffusion de vapeur et liquide caloporteur devient un procédé réellement efficace, faisant appel à des étapes nouvelles particulièrement simples à mettre en œuvre, en application des conclusions de la modélisation mathématique des phénomènes concernés. Cette étape consiste à augmenter notablement la température du liquide à distiller entrant, avant de le mélanger au liquide à distiller circulant, par un simple échange thermique avec les liquides distillé et concentré, sortant à une température moyenne élevée, proche de  $T_3$ . Cette valeur  $T_3$  est particulièrement élevée, en application desdites conclusions, du fait de la température maximale  $T_1$  ( $100^\circ\text{C}$ ) du liquide sortant de la chaudière et du réglage approprié du temps de transit ( $t$ ) du liquide caloporteur dans les plaques, en accord avec la valeur choisie pour l'écart ( $dT$ ) de température entre ces plaques.

- 20 Selon l'invention, un second procédé particulier de distillation à diffusion de vapeur, notamment pour produire de l'eau douce, conforme au procédé général perfectionné défini plus haut, dans lequel :
  - le fluide caloporteur est ledit gaz incondensable, saturé en vapeur du liquide à distiller ;
  - du liquide à distiller chaud, répandu en haut des faces externes des parois de toutes les plaques creuses d'échange thermique, s'étale et descend sur ces mêmes faces, en s'évaporant et en se refroidissant ;
- 25 - le gaz caloporteur, initialement chaud, à la température  $T_1$ , circule en descendant et se refroidissant jusqu'à la température  $T_3$ , à l'intérieur de ces plaques creuses puis, après avoir été refroidi d'une valeur appropriée, jusqu'à la température  $T_4$ , en remontant et en se réchauffant, jusqu'à la température  $T_2$ , dans les espaces qui les séparent ;
- les flux de chaleur traversent les parois de ces plaques creuses cependant que de la vapeur se condense sur les faces internes de ces parois ;
- 30 - le liquide distillé descend sur les faces internes des parois de ces plaques creuses, cependant que le liquide concentré s'écoule le long de leurs faces externes.
- est caractérisé en ce que :
  - la température optimale  $T_4$  du gaz caloporteur, en bas des espaces inter-plaques, est aussi proche que possible de la température minimale de la source froide naturelle disponible sur place ;
  - 35 - la température optimale  $T_1$  du gaz caloporteur en haut des plaques creuses est située dans une plage qui correspond à une zone entourant le maximum du Critère Intrinsèque d'Efficacité ;
  - l'écart de température ( $T_1 - T_2$ ) est très faible et l'écart ( $T_3 - T_4$ ) très important.

Selon des caractéristiques complémentaires du procédé de distillation, à diffusion de vapeur et gaz caloporteur,

- la correspondance entre la plage optimale des températures  $T_1$  et la zone du maximum de  $C_{IE}$  est réalisée par l'intermédiaire de leurs relations respectives entre une variable composite ( $t.dH/V$ ), dans laquelle ( $t$ ) est le

temps de transit dans les plaques, ( $dH$ ) un écart sensiblement constant d'enthalpie entre les parois interne et externe des plaques et ( $V$ ), le volume actif du système ;

- la plage optimale des températures  $T_1$  est l'intervalle 77–84°C;

- l'écart optimal d'enthalpie ( $dH$ ), entre les parois interne et externe des plaques, est établi par ajustement du

5 rapport entre la puissance de chauffe et le débit massique circulant du gaz caloporteur;

- la valeur optimale de ( $dH$ ) est relativement élevée lorsque le coût de l'énergie thermique, aisément disponible sur le lieu d'utilisation de l'appareil, est relativement faible ;

- le temps de transit ( $t$ ) du gaz caloporteur dans les plaques d'échange thermique est établi par ajustement du débit massique ( $D$ ) de ce gaz.

10 Selon d'autres caractéristiques complémentaires du second procédé de distillation, à diffusion de vapeur et gaz caloporteur,

- la majeure partie de ce gaz caloporteur est injecté à une température  $T_1$ , à l'intérieur d'un grand nombre ( $N$ ) de plaques creuses d'échange thermique à diffusion de vapeur, cependant que du liquide à distiller, fourni à une température proche de  $T_1$ , est répandu sur les parois externes de ces mêmes ( $N$ ) plaques ;

15 - la petite partie restante du gaz caloporteur est injectée, à la température  $T_1$ , à l'intérieur d'un petit nombre ( $n$ ) de plaques creuses d'échange thermique simple, pour y réaliser un échange de chaleur avec le liquide à distiller, de telle manière que la température de cette partie de gaz caloporteur en soit fortement abaissée, et la température du liquide à distiller, notablement augmentée ;

20 - la totalité du gaz caloporteur, qui sort des ( $N+n$ ) plaques, est fortement refroidie, par un échange de chaleur avec le liquide à distiller entrant, lequel est à une température naturelle aussi faible que possible, puis elle est injectée, à une température  $T_4$ , en bas des espaces séparant les ( $N$ ) plaques d'échange thermique ;

- le liquide à distiller, qui sort de l'échange de chaleur précédent, bénéficie d'un dernier échange de chaleur avec le liquide distillé qui sort des ( $N+n$ ) plaques, avant d'être introduit en bas de l'espace de séparation desdites ( $n$ ) plaques et, ensuite, il est introduit dans la chambre de chauffe d'une chaudière ;

25 - le courant de gaz-caloporteur, qui sort en haut des espaces de séparation des ( $N$ ) plaques, est réchauffé et saturé en vapeur par une source chaude appropriée, réalisant un contact physique avec le liquide à distiller chaud sortant de la chambre de chauffe, puis il est réintroduit à la température  $T_1$  à l'intérieur des ( $N+n$ ) plaques creuses, cependant que ledit liquide à distiller chaud s'évapore partiellement et se refroidit notablement, avant d'être répandu sur les parois externes des ( $N$ ) plaques creuses ;

30 - le liquide distillé, condensé au cours de ces quatre échanges thermiques, est récupéré et le liquide concentré, recueilli au bas des parois extérieures des ( $N$ ) plaques.

Grâce à ces dispositions, la température  $T_4$  (30°C, par exemple) du gaz caloporteur, injecté en bas des espaces inter-plaques, est peu supérieure à la température du liquide à distiller entrant dans l'appareil (25°C, par exemple) et très inférieure à la température  $T_3$  (64°C, par exemple) de ce même gaz caloporteur en sortie de ces ( $N$ ) plaques. Dans ces conditions, l'écart d'enthalpie  $dH$ , entre les courants de gaz caloporteur, à

35 température et capacité calorifique variables tout au long des faces internes et externes des ( $N$ ) plaques creuses, peut, de haut en bas des plaques, demeurer sensiblement constant et égal (aux pertes près) celui imposé par la source chaude appropriée, disposée entre la sortie des espaces inter-plaques et l'entrée de ces mêmes plaques. A cet égard, on notera que les écarts de température entre les flux de gaz caloporteur en

40 haut et en bas des plaques et des espaces inter-plaques, sont en revanche très différents. Ce sont respectivement ( $T_1-T_2$ ) = 5°C, avec  $T_1$  = 85°C, et ( $T_3-T_4$ ) = 34°C, avec  $T_3$  = 64°C, par exemple.

Pour ce qui est de la chaudière utilisée dans ces deux procédés de distillation perfectionnés, on notera qu'elle peut prendre les formes les plus diverses. A priori, on ne fera usage qu'en dernier ressort, du fait de son mauvais rendement, de la forme primaire qui consiste à chauffer par une flamme le fond d'un récipient contenant le liquide à distiller. Il en sera de même du chauffage électrique, pour des raisons économiques. En conséquence, on utilisera de préférence une chaudière comportant un ou plusieurs tubes de chauffe appropriés, immergés dans le liquide à distiller, qui seront traversés par un fluide de chauffage disponible. Un tel fluide de chauffage pourra être le liquide de refroidissement primaire d'un moteur thermique, les gaz d'échappement d'un tel moteur, les gaz produits par un brûleur de combustible liquide ou gazeux, ou encore une huile thermique, chauffée le jour par une chaudière solaire à réflecteur cylindrico-parabolique, et stockée à haute température ( $>130^{\circ}\text{C}$ ), pour un usage de jour et de nuit, dans un réservoir calorifugé, à pression atmosphérique. Une chaudière solaire, avec ou sans réflecteur, peut aussi être utilisée le jour pour directement chauffer le liquide à distiller.

Grâce à ces dispositions, on notera plus particulièrement que la récupération de la chaleur habituellement perdue, emportée par le liquide primaire de refroidissement d'un moteur thermique marin entraînant l'alternateur d'une petite centrale électrique du littoral, permet de valoriser efficacement cette chaleur à évacuer, en constituant une centrale de co-génération électricité/eau douce. De même sur tout navire à moteur, civil ou militaire, notamment sous-marin, il devient possible, dans des conditions économiques intéressantes, de disposer d'eau douce en abondance. En outre, dans les industries alimentaires ou chimiques, la récupération de l'énergie thermique des effluents permettra, avec des alambics à diffusion de vapeur et gaz caloporteur, selon la présente invention, de produire des concentrés, tels que sirops ou saumures, à des conditions économiques particulièrement intéressantes.

Par ailleurs, si, dans les alambics à diffusion de vapeur et gaz caloporteur, on fait en sorte que le liquide à distiller soit, quel que soit le type de chaudière utilisé, chauffé à une température et une pression plus élevées que leurs valeurs standard à l'ébullition ( $102^{\circ}\text{C}$  et 60 millibars de surpression, par exemple, pour de l'eau), il devient possible de supprimer tout moyen mécanique d'entraînement du gaz caloporteur et de lui substituer un jet de vapeur calibré. Cette technique, comme celle du thermosiphon pour les alambics à diffusion de vapeur et liquide caloporteur, présente un intérêt très important pour la fiabilité des alambics devant opérer en dehors d'un environnement industriel.

Pour la mise en œuvre de ces différents procédés particuliers de distillation selon la présente invention, il est nécessaire d'utiliser plusieurs dispositifs d'échange thermique, respectivement adaptés aux fonctions particulières qui leur sont affectées, à savoir: échange gaz / liquide ou échange liquides / liquide. Pour les échanges thermiques simples, sans diffusion de vapeur, il est possible d'utiliser les échangeurs thermiques disponibles sur le marché, mais leurs prix apparaissent particulièrement élevés, si on les compare à celui de tous les éléments d'échange thermique creux et plats en polymère, décrits dans la demande PCT concernant l'invention antérieure. Ce qui, dans le cas d'un alambic à diffusion de vapeur, selon la présente invention, les rend inutilisables d'un point de vue économique. Pour ce qui concerne les échanges thermiques simples, prévus selon la présente invention, les éléments creux et plats, décrits dans cette demande PCT, peuvent les assurer, si on les adapte à leurs nouvelles fonctions. Mais, il serait souhaitable qu'un autre type d'échangeur thermique, mieux adapté à tous les cas d'utilisation, soit disponible à des conditions techniques et économiques satisfaisantes.

Selon une autre invention de Jean-Paul DOMEN, qui fait l'objet de la récente demande de brevet français N°02 15821, intitulée « Echangeur thermique. Procédés et moyens de fabrication de cet échangeur »,

déposée le 13 décembre 2002, par la société « TECHNOLOGIES DE L'ECHANGE THERMIQUE », un échangeur thermique à contre-courant, notamment pour fluides confinés, est décrit qui apporte à la présente invention des conditions de mise en œuvre particulièrement intéressantes. En effet, cet échangeur thermique nouveau combine, d'une part, quatre caractéristiques techniques importantes, à savoir : grande efficacité, 5 compacité optimale, poids réduit et inaltérabilité intrinsèque et, d'autre part, une caractéristique économique essentielle, dont sont dépourvus les échangeurs thermiques actuellement disponibles sur le marché, à savoir, un faible coût de production. Un tel échangeur thermique convient particulièrement bien aux nécessités des échanges thermiques classiques de la présente invention. En outre, ce nouveau type d'échangeur permet, grâce à un perfectionnement selon la présente invention, de concevoir une architecture nouvelle pour un 10 alambic à diffusion de vapeur, utilisant un gaz caloporteur. Ce qui en multiplie l'intérêt et permet de remplacer avantageusement les grandes plaques rectangulaires d'échange thermique, souples ou rigides, décrites dans la demande PCT.

Selon cette demande de brevet français, un échangeur thermique compact à faible coût, destiné à traiter à contre-courant des fluides confinés, comprend :

- 15 - un ou plusieurs éléments actifs d'échange, réalisés en verre ou en un polymère adéquat, installés fixes dans une enveloppe ;
  - cette enveloppe est pourvue de deux tubulures de connexion et elle est formée par deux demi-coquilles soudées l'une à l'autre, de manière à entourer complètement, avec un faible écart, ce ou ces éléments actifs ;
  - chaque élément actif d'échange est constitué par une pièce allongée unique, à multiples replis longitudinaux,
- 20 constituant un empilement de paires symétriques de plaques creuses communicantes ;
  - la section droite de cet empilement est en forme de colonne vertébrale de poisson, pourvue d'arêtes creuses, obliques, parallèles entre elles, qui se partagent un canal central commun, occupant tout le plan de symétrie de cet empilement ;
  - l'épaisseur interne de ces arêtes est très petite, et l'écart entre elles, de même que la largeur du canal
- 25 commun, sont du même ordre de grandeur que cette épaisseur interne ;
  - ces paires symétriques de plaques creuses ont leurs deux extrémités reliées les unes aux autres, par deux courts raccords creux, formés à partir de deux surfaces retournables ;
  - chaque paire de plaques creuses possède deux collecteurs d'alimentation dont les axes sont confondus avec les axes d'empilement de ses raccords d'extrémités ;
- 30 - l'une des extrémités de chaque collecteur se termine par l'une des deux tubulures de connexion d'un élément actif, ces tubulures étant de préférence, diagonalement opposées.

Chaque élément actif d'un tel échangeur thermique est réalisé par un écrasement contrôlé d'une ébauche thermo-soufflée, fabriquée en verre ou en un polymère, adapté aux températures prévues pour son usage, qui comprend un empilement de soufflets biconvexes relativement longs, pourvus de raccords 35 d'extrémités relativement courts. Un tel empilement est comparable à un accordéon dont les soufflets auraient des crêtes arasées et des fonds étroits, avec des profondeurs de soufflets suffisamment importantes, en regard de la dimension transversale de l'ébauche, pour permettre aux raccords d'extrémités de constituer des surfaces retournables, notamment des demi-troncs de cône, impliquant un flambage de transition au cours de leur retournement.

40 Selon la présente invention, ce nouvel échangeur thermique à contre-courant pour fluides confinés est pourvu d'une fonction complémentaire, adaptée à permettre une bonne évaporation du liquide à distiller, dans un alambic à diffusion de vapeur et gaz caloporteur. Pour ce faire, la paroi extérieure et, le cas échéant, celle

intérieure de l'ébauche de chaque élément actif d'échange thermique utilisé, est rendue hydrophile ou mouillable, soit par un revêtement hydrophile, le cas échéant, préformé, dans le cas de polymère, soit par un traitement chimique de dépolissage, dans le cas du verre. Une telle ébauche peut à nouveau être fabriquée par thermo-soufflage d'un manchon pâteux, de forme aplatie, produit par une extrudeuse, puis introduit dans un moule adapté à cet effet. Dans le cas d'un polymère, les parois intérieures du moule auront été préalablement garnies dudit revêtement hydrophile.

Grâce à ces dernières dispositions, les problèmes de soudure, aux solutions complexes et relativement onéreuses, rencontrés à l'occasion de la fabrication, de l'installation et de l'utilisation des grandes plaques rectangulaires, souples ou rigides, d'échange thermique, décrites dans ladite demande PCT, ne se posent plus. En effet, les seules soudures, à prévoir pour la fabrication de ces différents échangeurs thermiques compacts, utilisés pour la mise en œuvre des procédés de distillation selon la présente invention, sont à la fois peu nombreuses et relativement faciles à réaliser. La durée de vie de ces nouveaux échangeurs thermiques dépend de celle du matériau utilisé et, dans le cas du verre et d'un polymère tel que le polypropylène, elle est supérieure à la durée de vie de l'appareil. L'un des avantages complémentaires, de ce type d'échangeurs thermiques à multiples replis longitudinaux, est sa compacité extrême. Ce qui permet d'installer, dans un volume donné de chambre de traitement, des surfaces d'échange thermique, notablement plus étendues que celles obtenues avec les éléments creux et plats, de grande dimensions, décrits dans la demande PCT (soit environ 400 m<sup>2</sup> par mètre cube, au lieu de 120). De plus, comme les paires symétriques de plaques, qui composent cet échangeur thermique compact, peuvent en toute sécurité être notablement plus rapprochées que de grandes plaques (2,5 mm au lieu de 5 mm), le gradient de température dans les espaces inter-plaques de l'élément actif d'un tel échangeur, est multiplié par un facteur au moins égal à deux. En conséquence, avec des échangeurs thermiques compacts, permettant d'effectuer une diffusion de vapeur, le Coefficient Intrinsèque d'Efficacité C<sub>IE</sub> de l'alambic qui les utilise, est, par construction, multiplié par au moins quatre. A cela, il faut ajouter que, dans le cas d'un élément actif en verre, la conductivité thermique de ce matériau est de 1,5 W/m.K, soit sept fois plus que celle des polymères. Ce qui augmente notablement la conductance thermique totale à prendre en compte et, sur la figure 2, amène le maximum du C<sub>IE</sub> à une valeur de 270 au lieu de 93.

Les caractéristiques et avantages de la présente invention ressortiront d'une manière plus précise de la description qui va suivre de formes de réalisation particulières, données à titre d'exemples non limitatifs, en référence aux dessins ci-après dans lesquels :

- les figures 1 et 2 représentent les courbes commentées dans le préambule ci-dessus ;
- la figure 3 représente le schéma d'un alambic à diffusion de vapeur, utilisant le liquide à distiller comme fluide caloporteur ;
- la figure 4 représente le schéma d'un alambic à diffusion de vapeur, utilisant de grandes plaques creuses pour les échanges thermiques et le gaz incondensable, saturé en vapeur du liquide à distiller, comme fluide caloporteur ;
- la figure 5 représente la disposition en perspective d'un ensemble de trois grandes plaques creuses d'échange thermique d'un alambic selon l'invention
- la figure 6 représente le dispositif d'alimentation de six plaques de rang pair ou impair d'un ensemble de grandes plaques creuses d'échange thermique selon l'invention ;



- la figure 7 représente les moyens selon l'invention pour répandre le liquide à distiller sur le revêtement des plaques chaudes d'un alambic à diffusion de vapeur et liquide caloporteur ;
- la figure 8 représente les vues de profil et de dessus d'un échangeur thermique compact, à faible coût de production, ainsi que des coupes transversales de cet échangeur et de l'ébauche, à partir de laquelle l'élément actif de cet échangeur est fabriqué ;
- les figures 9-10 sont des représentations en perspective simplifiée d'une vue d'ensemble et des détails d'un alambic à diffusion de vapeur et gaz caloporteur utilisant des échangeurs thermiques compacts à faible coût et une chaudière comprenant un tube de chauffage immergé dans le liquide à distiller.

10 Selon le schéma de la figure 3, deux plaques 10-12 représentent un ensemble de grandes plaques alvéolaires rigides (de 50 à 150 dm<sup>2</sup>), de forme rectangulaire, installées dans la chambre de traitement d'un alambic à diffusion de vapeur et liquide caloporteur, selon la présente invention. Ces plaques 10-12 ont une faible épaisseur interne (2 à 3 mm par exemple) et sont séparées les unes des autres par un espace libre étroit 14, ayant une épaisseur d'environ 5 mm, rempli d'un gaz incondensable, notamment d'air. La plaque 10 est affectée à l'évaporation du liquide à distiller et, à cet effet, elle est pourvue d'un revêtement hydrophile ou mouillable 16. La plaque 12 est affectée à la condensation de la vapeur diffusée dans le gaz incondensable. Elle comporte, de préférence, un revêtement identique 15. Une chaudière 18, pourvue d'une source chaude 17 et d'une chambre de chauffe 19, située à bonne distance sous le sommet des plaques 10-12, est disposée entre les extrémités hautes de ces plaques et reliée à ces extrémités par des canalisations 11 et 13 et des dispositifs de raccordement 11a et 13a. Cette chaudière 18 fait circuler dans ces plaques 10-12, en circuit fermé et par thermosiphon, un liquide caloporteur constitué par le liquide à distiller. Cette chaudière 18 sera de tout type disponible, notamment à capteur solaire ou à brûleur. La circulation du liquide caloporteur se fait de haut en bas dans la plaque d'évaporation 10 et de bas en haut dans la plaque de condensation 12. La température du liquide entrant dans la plaque 10 est  $T_1$  et celle de ce même liquide, répandu sur le haut du revêtement 16, au moyen d'un dispositif approprié 11c, lui est, presque immédiatement, légèrement inférieure, du fait de son évaporation. Au cours de son trajet dans la plaque 10, le liquide caloporteur s'est refroidi cependant que s'évapore le liquide répandu sur le revêtement 16 et que sa vapeur diffuse dans le gaz incondensable. La température du liquide caloporteur à la sortie de cette plaque 10 est  $T_3$ . Le liquide qui sort de la plaque 10, à travers un dispositif de raccordement 11b identique à 11a, entre dans un mélangeur 20 qui reçoit par gravité de l'eau de mer à distiller, provenant d'un échangeur thermique à contre-courant 22. Cet échangeur 22 est du type compact, à faible coût, qui sera décrit en détail ci-après. Cet échangeur 22 comporte deux éléments actifs d'échange 24-26 et une enveloppe 28 les enfermant. Ces éléments actifs sont reliés aux deux gouttières de collecte 30-32 de la saumure et de l'eau distillée qui s'écoulent du revêtement 16 de la plaque d'évaporation et du revêtement 17 de la plaque de condensation 12. Dans l'enveloppe 28, circule de l'eau de mer froide provenant, à travers un robinet de réglage de débit 34, d'un réservoir 36 disposé au-dessus des plaques 10-12. A la sortie de l'échangeur 22, l'eau douce et la saumure se déversent dans des gouttières d'évacuation 38-40. La température de l'eau de mer du réservoir est  $T_{L1}$  et celle du liquide réchauffé sortant de l'échangeur 22, pour entrer dans le mélangeur 20, est  $T_{L2}$ . A la sortie du mélangeur 20, la température de l'eau de mer à distiller est  $T_4$ . Dans l'alambic, le rapport des débits des liquides circulant et entrant est sensiblement égal à dix. L'eau de mer sortant du mélangeur 20 entre dans les plaques froides 12 à travers un dispositif de raccordement 13b, identique au dispositif 13a. La condensation de vapeur sur la face extérieure de la plaque 12 provoque un relèvement progressif de la température du liquide circulant, de telle

- la figure 7 représente les moyens selon l'invention pour répandre le liquide à distiller sur le revêtement des plaques chaudes d'un alambic à diffusion de vapeur et liquide caloporteur :
- la figure 8 représente les vues de profil et de dessus d'un échangeur thermique compact, à faible coût de production, ainsi que des coupes transversales de cet échangeur et de l'ébauche, à partir de laquelle l'élément actif de cet échangeur est fabriqué ;
- les figures 9-10 sont des représentations en perspective simplifiée d'une vue d'ensemble et des détails d'un alambic à diffusion de vapeur et gaz caloporteur utilisant des échangeurs thermiques compacts à faible coût et une chaudière comprenant un tube de chauffage immergé dans le liquide à distiller.

Selon le schéma de la figure 3, deux plaques 10-12 représentent un ensemble de grandes plaques alvéolaires rigides (de 50 à 150 dm<sup>2</sup>), de forme rectangulaire, installées dans la chambre de traitement d'un alambic à diffusion de vapeur et liquide caloporteur, selon la présente invention. Ces plaques 10-12 ont une faible épaisseur interne (2 à 3 mm par exemple) et sont séparées les unes des autres par un espace libre étroit 14, ayant une épaisseur d'environ 5 mm, rempli d'un gaz incondensable, notamment d'air. La plaque 10 est affectée à l'évaporation du liquide à distiller et, à cet effet, elle est pourvue d'un revêtement hydrophile ou mouillable 16. La plaque 12 est affectée à la condensation de la vapeur diffusée dans le gaz incondensable. Elle comporte, de préférence, un revêtement identique 15. Une chaudière 18, pourvue d'une source chaude 17 et d'une chambre de chauffe 19, située à une bonne distance sous le sommet des plaques 10-12, est disposée entre les extrémités hautes de ces plaques et reliée à ces extrémités par des canalisations 11 et 13 et des dispositifs de raccordement 11a et 13a. Cette chaudière 18 fait circuler dans ces plaques 10-12, en circuit fermé par thermosiphon, un liquide caloporteur constitué par le liquide à distiller. Cette chaudière 18 sera de tout type disponible, notamment à capteur solaire ou à brûleur. La circulation du liquide caloporteur se fait de haut en bas dans la plaque d'évaporation 10 et de bas en haut dans la plaque de condensation 12. La température du liquide entrant dans la plaque 10 est  $T_1$  et celle de ce même liquide, répandu sur le haut du revêtement 16, au moyen d'un dispositif approprié 11a, lui est, presque immédiatement, légèrement inférieure du fait de son évaporation. Au cours de son trajet dans la plaque 10, le liquide caloporteur s'est refroidi cependant que s'évapore le liquide répandu sur le revêtement 16 et que sa vapeur diffuse dans le gaz incondensable. La température du liquide caloporteur à la sortie de cette plaque 10 est  $T_3$ . Le liquide qui sort de la plaque 10, à travers un dispositif de raccordement 11b identique à 11a, entre dans un mélangeur 20 qui reçoit par gravité l'eau de mer à distiller, provenant d'un échangeur thermique à contre-courant 22. Cet échangeur 22 est du type compact, à faible coût, qui sera décrit en détail ci-après. Cet échangeur 22 comporte deux éléments actifs d'échange 24-26 et une enveloppe 28 les enfermant. Ces éléments actifs sont reliés aux deux gouttières de collecte 30-32 de la saumure et de l'eau distillée qui s'écoulent du revêtement 16 de la plaque d'évaporation et du revêtement 15 de la plaque de condensation 12. Dans l'enveloppe 28, circule de l'eau de mer froide provenant, à travers un robinet de réglage de débit 34, d'un réservoir 36 disposé au-dessus des plaques 10-12. A la sortie de l'échangeur 22, l'eau douce et la saumure se déversent dans des gouttières d'évacuation 38-40. La température de l'eau de mer du réservoir est  $T_{L1}$  et celle du liquide réchauffé sortant de l'échangeur 22, pour entrer dans le mélangeur 20, est  $T_{L2}$ . A la sortie du mélangeur 20, la température de l'eau de mer à distiller est  $T_4$ . Dans l'alambic, le rapport de débits des liquides circulant et entrant est sensiblement égal à dix. L'eau de mer sortant du mélangeur 20 entre dans les plaques froides 12 à travers un dispositif de raccordement 13b, identique au dispositif 13a. La condensation de vapeur sur la face extérieure de la plaque 12 provoque un relèvement progressif de la température du liquide circulant, de telle

sorte que, à la sortie de la plaque 12, ce liquide est à une température  $T_2$ . L'eau douce, condensée sur la face extérieure de la plaque 12, s'écoule avec une température  $T_4$ , et la saumure, en bas du revêtement 16, avec une température  $T_3$ .

Pour apprécier l'efficacité d'un tel alambic à diffusion de vapeur, mettant en œuvre des échanges thermiques à contre-courant d'eau, on va procéder à deux applications numériques. A titre d'exemple, l'échangeur thermique compact 22 étant mis hors circuit, l'eau de mer froide à  $25^\circ\text{C}$  est directement mélangée au liquide caloporteur sortant à  $T_3$  des plaques chaudes 10. Compte-tenu du rapport dix existant entre les deux débits, les températures aux extrémités des plaques sont, par exemple, les suivantes:  $T_1 = 99^\circ\text{C}$ ,  $T_2 = 95^\circ\text{C}$ ,  $T_3 = 68^\circ\text{C}$  et  $T_4 = 64^\circ\text{C}$ , avec  $dT = 4^\circ\text{C}$  et  $\text{COP} = (T_1 - T_3)/dT = 8$ . Mais, si le prix de l'énergie sur place est élevé, il impose d'augmenter au mieux la valeur de  $\text{COP}$ , en diminuant la valeur de  $dT$ . A titre d'exemple, si l'on veut un  $\text{COP}$  brut de 16 environ, la valeur de  $dT = (T_1 - T_3)/16$ . Ce résultat peut s'obtenir sans échangeur thermique 22, comme dans le cas précédent, pour  $T_3 = 54^\circ\text{C}$  et  $dT = 2,8^\circ\text{C}$ , en ajustant la puissance ( $P$ ) de la chaudière et le débit du liquide circulant ( $D$ ). Cette nouvelle valeur de  $T_3$  est en dehors de la plage optimale des températures de sortie des plaques chaudes. Selon la courbe B de la fig.1, on a pour  $T_3 = 54^\circ\text{C}$ , une valeur de  $C_{IE}$  de 15,6 au lieu de 17,8 au milieu de la plage optimale de  $T_3$ , soit 12% de moins et donc une production quotidienne de 12% inférieure, pour un volume actif d'alambic inchangé. En revanche, si l'on met en œuvre l'échangeur thermique compact à faible coût 22, pour amener l'eau de mer à distiller à une température de  $45^\circ\text{C}$  et donc l'écart  $dT$  à  $2^\circ\text{C}$  et  $T_3$  maintenu à  $68^\circ\text{C}$ , la valeur de  $C_{IE}$  demeure à 17,8. Cette amélioration se traduit par une augmentation du prix de l'alambic égale au prix de l'échangeur 22. Avec un échangeur thermique compact à faible coût, du genre décrit ci-après, ce prix est faible, contrairement aux prix élevés des autres échangeurs thermiques utilisables disponibles sur le marché, et les augmentations du  $\text{COP}$  et du  $C_{IE}$  de distillation qui en résultent, pour un alambic ainsi équipé, sont parfaitement justifiés du point économique. On notera que le calcul démontre que toute augmentation relative du  $C_{IE}$  de distillation d'un alambic à diffusion de vapeur permet une diminution relative symétrique de la surface totale d'échange thermique mise en œuvre, sans pour autant modifier le débit distillé et l'énergie consommée. La traduction économique d'une telle diminution est la différence entre les coûts d'acquisition et d'amortissement relativement élevés des plaques d'échange thermique épargnées, à durée de vie relativement courte (moins de cinq ans), et les coûts semblables relativement faibles, de l'échangeur thermique compact utilisé qui, à la fois, bénéficie d'un faible coût de construction et d'une durée de vie particulièrement longue.

En conséquence, avec un alambic à diffusion de vapeur et contre-courant d'eau, qui utilise de grandes plaques d'échange thermique, du genre décrit dans ladite invention antérieure, et qui opère à des températures  $T_1$  et  $T_3$  optimales, en accord avec la présente invention, l'emploi d'un échangeur thermique compact à faible coût est particulièrement intéressante. En effet, ce type d'échangeur permet d'amener, pour un coût réduit, l'eau de mer froide entrant, à prendre une température relativement élevée qui, après mélange, amène l'eau de mer entrant dans les plaques froides, à une température optimale plus élevée. Cette température optimale est obtenue en donnant par construction à l'échangeur utilisé un  $\text{COP}$  approprié. Ce résultat intermédiaire entraîne, pour un alambic de volume actif donné ( $V$ ), une efficacité de distillation améliorée, obtenue à des conditions économiques intéressantes, pour ce qui concerne le volume journalier de production d'eau douce.

La figure 4 est le schéma de principe d'un alambic à diffusion de vapeur, utilisant de l'air, gaz incondensable, saturé en vapeur du liquide à distiller, comme fluide caloporteur. Selon cette figure 4, les faces interne 50 et externe 52 des parois d'une grande plaque creuse rectangulaire 54 (qui représente symboliquement un

grand nombre (N) de plaques identiques) bordent respectivement son volume intérieur 56 et l'espace libre 58 qui sépare deux plaques voisines. La face externe 54 de ces parois comporte un revêtement hydrophile 60. Au voisinage de ces premières (N) plaques creuses, est disposé un petit nombre (n) d'autres plaques creuses, semblables aux précédentes mais sans revêtement. Ces (n) plaques creuses sont symboliquement représentées par un tuyau 66 traversant un espace 67 délimité par deux parois 62-64. Une partie du débit de gaz caloporteur est introduite en haut 68 de l'espace 67. Par un passage 70, le bas de l'espace 67 communique directement avec le bas des intérieurs 56 des plaques 54. Le tuyau 66 est pourvu d'une entrée 72 et d'une sortie 74. Un réservoir 76, contenant le liquide à distiller (eau saumâtre, par exemple), à la température  $T_{L1}$ , est installé au-dessus de l'alambic et, par gravité, il alimente cet alambic; à travers un robinet de réglage de débit 78. Le liquide à distiller est tout d'abord introduit dans un échangeur thermique approprié 80, opérant à contre-courant. Cet échangeur 80 comporte, dans une enveloppe 82, un élément actif d'échange 84. L'entrée de l'élément actif 84 est connectée à la sortie du robinet 78 et sa sortie, reliée par une canalisation 86 à l'entrée de l'enveloppe 87, d'un échangeur thermique compact à contre-courant 88. L'entrée de l'enveloppe 82 de l'échangeur thermique 80 est reliée à la sortie commune 90 des (N) plaques creuses 54 et du tuyau 66 et sa sortie, reliée à l'entrée d'un ventilateur 92, installé en bas 94 de l'espace inter-plaques 58. L'eau distillée, condensée sur les parois de l'élément 84, s'accumule au fond de l'enveloppe 82 et elle s'évacue par un conduit 83. Dans la partie haute 96 de l'espace inter-plaques 58, est disposé un large plateau 98, recouvert d'une épaisse couche de tissu hydrophile 100, pourvu d'un fond percé, raccordé à un conduit de distribution 102, installé juste au-dessus du revêtement 60 de la plaque creuse 54. Le conduit 104 de collecte de la saumure, qui s'écoule au bas du revêtement 60, débouche sur une gouttière d'évacuation 106. Le conduit 108 de collecte du mince filet 110 d'eau distillée, qui s'est condensée sur la face interne 50 de la plaque 54, est rejoint par le conduit 112 de collecte de l'eau distillée, condensée sur la paroi du tuyau 66, avant d'être relié à l'entrée de l'élément actif 114 de l'échangeur thermique 88. La sortie 115 de cet élément 114 de même que la sortie 83 de l'enveloppe 82 débouchent sur une gouttière 116 d'évacuation de l'eau distillée. La sortie de l'enveloppe 87 de l'échangeur thermique 88 est reliée à l'entrée 72 du tuyau 66. La sortie 74 du tuyau 66 est reliée à l'entrée de la chambre de chauffe 118 d'une chaudière 120, pourvue d'une source chaude 122. La chambre de chauffe 118 possède un conduit de sortie 124 qui débouche juste au-dessus d'un tissu spongieux 100 qui recouvre le plateau 98. La température maximale, de l'eau saumâtre à distiller contenue dans la chambre de chauffe 118, est inférieure à sa température d'ébullition.

Grâce à ces dispositions, la source chaude 122, adaptée à fournir de l'eau saumâtre à  $90^{\circ}\text{C}$ , par exemple, pour un débit donné d'entrée de cette eau, contrôlé par le robinet de réglage 78, régit l'ensemble du fonctionnement d'un alambic à diffusion de vapeur et gaz caloporteur, en accord avec les caractéristiques nouvelles des procédés selon la présente invention. L'eau chaude, fournie par la chambre de chauffe 118 à une température de  $90^{\circ}\text{C}$ , imbibe le tissu spongieux 100. Placée dans le courant de gaz caloporteur sortant en haut 96 de l'espace inter-plaques 58, à une température  $T_2$ , notablement inférieure à celle du tissu 100, l'eau de ce tissu s'évapore en partie et se refroidit notablement, jusqu'à  $78^{\circ}\text{C}$ , par exemple. A travers le conduit de sortie 102, cette eau est répandue en haut du revêtement hydrophile 60 des (N) plaques creuses 54. Le gaz caloporteur, qui a circulé le long du plateau 98, recouvert du tissu spongieux 100 imbibé d'eau chaude, s'est réchauffé jusqu'à  $T_1 = 80^{\circ}\text{C}$  et, saturé en vapeur, il est injecté à l'intérieur des (N) plaques creuses 54 et du tuyau 66. Au cours de sa descente dans ces plaques, la vapeur emportée par ce gaz caloporteur se condense sur leurs faces internes, cependant que ce gaz se refroidit et que l'eau saumâtre chaude qui s'écoule le long du revêtement 60 s'évapore. Au bas des (N) plaques 54, la température  $T_3$  du gaz

caloporteur est de 64°C et au bas des (n) plaques représentées par le tuyau 66, la température du gaz est de 42°C environ. A l'entrée de l'enveloppe 82 de l'échangeur thermique 80, la température du mélange est de 59°C environ. Le liquide à distiller entre dans l'élément actif 84 de l'échangeur thermique 80, à une température  $T_{L1} = 25^\circ\text{C}$  par exemple. Au cours de sa traversée de l'élément 84, ce liquide gagne 5°C  
 5 cependant que le gaz caloporteur qui a traversé l'enveloppe 82 perd 29°C pour se retrouver à une température  $T_4 = 30^\circ\text{C}$ , à l'entrée du ventilateur 92, installé au bas de l'espace inter-plaques 58. Au cours de la montée de l'espace inter-plaques 58, le gaz caloporteur se réchauffe et arrive en haut 96 de cet espace à une température  $T_2 = 78^\circ\text{C}$ . En sortie de l'élément actif 84, l'eau saumâtre est à une température  $T_{L2}$  de 32°C seulement, du fait des capacités calorifiques et des débits massiques respectifs très différents des deux  
 10 fluides concernés.

La saumure qui s'écoule du revêtement 60 des (N) plaques creuses 54 est à la température  $T_4$  de 30°C, c'est-à-dire à une température proche de celle (25°C) de l'eau saumâtre à distiller. En conséquence, son évacuation est faite directement par le conduit 104 et la gouttière 106. En revanche, l'eau distillée à l'entrée de l'élément actif 114 de l'échangeur thermique à contre-courant 88 est à une température de 59°C  
 15 environ, celle-là même du gaz caloporteur à l'entrée de l'enveloppe 82 de l'échangeur thermique 80. Il est donc tout à fait justifié de récupérer l'énergie thermique de cette eau distillée et de négliger celle emportée par la saumure. Comme le débit d'eau distillée à 59°C circulant dans l'élément actif 114 de l'échangeur thermique 88 est deux fois plus faible que celui de l'eau saumâtre à  $T_{L2} = 32^\circ\text{C}$  qui traverse son enveloppe 87, la température  $T_{L3}$  de l'eau saumâtre qui en sort est seulement à environ 38°C.

20 De son côté, l'eau saumâtre qui sort du tuyau 66 est à  $T_{L4} = 76^\circ\text{C}$ , soit 4°C de moins que la température  $T_1$  de l'air chaud saturé, à l'entrée de l'espace 67. L'eau saumâtre à 76°C qui entre dans la chambre de chauffe 118 de la chaudière 120 y gagne 14°C.

Le rapport entre le nombre (N) de plaques 54 et le nombre (n) de plaques symbolisé par le tuyau 66 est de six à dix environ et les échangeurs thermiques 80 et 88 seront, par construction, adaptés aux résultats  
 25 recherchés. Comme cela a été indiqué plus haut, la valeur optimale de la variable composite (t.dH/V) sera relativement élevée, lorsque la chaudière 120 sera alimentée par une énergie thermique gratuite (chaudière solaire ou eau de refroidissement d'un moteur thermique, par exemple). L'eau saumâtre à distiller arrive dans l'échangeur thermique à contre-courant 80 avec une température  $T_{L1}$  de 25°C et son débit optimal est obtenu au moyen du robinet de réglage 78.

30 La figure 5 représente schématiquement trois grandes plaques creuses souples, pourvues de leur encadrement et de leur rondelles de raccordement. La figure 6 représente une vue en coupe longitudinale de l'un des quatre dispositifs d'alimentation d'un nombre important (6, dans le dessin) de grandes plaques rectangulaires creuses de rang pair, assurant des échanges thermiques dans un alambic, selon l'invention, qui fonctionne avec un fluide caloporteur liquide aussi bien que gazeux. Quant à la figure 7, elle représente le  
 35 dispositif assurant la répartition du liquide chaud à distiller, sur les revêtements hydrophiles des seules plaques affectées à l'évaporation de ce liquide, lorsque le fluide caloporteur est un liquide.

Selon la figure 5, chaque plaque rectangulaire souple 140<sub>1,2,3</sub> qui mesure par exemple, 120 cm de haut et 100 cm de large, est réalisée à partir d'une feuille mince (notamment, en polypropylène), pourvue d'un revêtement hydrophile soudé (notamment, un non-tissé de cellulose, représenté en pointillés), pliée en deux,  
 40 le pli constituant le bord supérieur de chaque plaque.

Lorsque les plaques 140<sub>1,2,3</sub> sont du type souple, des ensembles de lignes de soudure parallèles (jusqu'à 50) sont formés, qui définissent les conduits intérieurs 142<sub>1,2,3</sub> de ces plaques, lesquels ont par

exemple de 15 à 20 mm de large et 80 cm de long. En haut et en bas de ces ensembles de conduits parallèles 142<sub>1,2,3</sub>, deux lignes de soudure obliques 144<sub>1,2,3</sub> et 146<sub>1,2,3</sub>, inclinées et parallèles, sont réalisées, qui définissent respectivement un canal commun haut 148<sub>1,2,3</sub> et un canal commun bas 163<sub>1,2,3</sub> tous deux en forme de trapèze. La partie de chaque plaque 140<sub>1,2,3</sub>, située au-dessus de la ligne oblique 144<sub>1,2,3</sub>, constitue un fourreau 150<sub>1,2,3</sub>, dont les deux extrémités sont coupées, pour laisser place à une grande et une petite découpes 152<sub>1,2,3</sub> et 153<sub>1,2,3</sub>. De part et d'autre des ensembles 142<sub>1,2,3</sub> de lignes parallèles, sont réalisées deux lignes de soudure 154<sub>1,2,3</sub> et 156<sub>1,2,3</sub>, parallèles aux précédentes, qui constituent les bords extérieurs de chaque plaque 140<sub>1,2,3</sub>. Ces mêmes lignes 154-156, en coopération avec la ligne extérieure, prolongée par ses deux bouts, qui borde le premier et le dernier conduit de chaque plaque, délimitent deux fourreaux verticaux 158<sub>1,2,3</sub> et 160<sub>1,2,3</sub>, d'environ 4 cm de large, sur toute la hauteur des éléments.

Les deux pans de paroi 162<sub>1,2,3</sub>, situés en dessous de la ligne oblique basse 146<sub>1,2,3</sub> de chaque plaque, sont repliés vers le haut pour constituer, avec la paroi extérieure de son canal commun bas 163<sub>1,2,3</sub>, deux chaussons de collecte des liquides qui ont suinté dans les revêtements hydrophiles des deux parois des plaques 140<sub>1,2,3</sub>. Une gouttière (non représentée) est disposée sous les extrémités basses des deux chaussons de collecte de chaque plaque, de sorte que, du fait des orientations opposées des chaussons de deux plaques contiguës, l'une des gouttières récoltera le liquide qui s'écoule des plaques de rang impair et l'autre, celui des plaques de rang pair, froides et chaudes, le cas échéant.

Chaque plaque 140<sub>1,2,3</sub> dispose d'un encadrement semi-rigide qui comprend deux tringles horizontales et deux lames verticales, toutes deux en acier inoxydable, par exemple, ou en un polymère armé à haute résistance mécanique. Les tringles ont une section en U, l'une haute 164<sub>1,2,3</sub> en U renversé, pour la suspension de la plaque et l'autre basse 166<sub>1,2,3</sub> en U droit, pour lui donner une tension longitudinale et compléter l'encadrement. A titre d'exemple, l'épaisseur externe de ces tringles est de 3 mm, leur hauteur de 10 mm et leur épaisseur de paroi de 1 mm. Les extrémités de ces tringles comportent, en retrait sur leurs flancs, deux redents (non représentés). Les ouvertures des tringles en U renversé 164<sub>1,2,3</sub> sont engagées sur les extrémités de lames verticales 168<sub>1,2,3</sub> et 170<sub>1,2,3</sub>, à bords arrondis, ayant 3,5 cm de large et 1 mm d'épaisseur. L'écartement de ces lames est imposé par celui des butées constituées par les redents des tringles. Les tringles 164<sub>1,2,3</sub> ainsi que les lames 168<sub>1,2,3</sub> et 170<sub>1,2,3</sub> sont respectivement engagées dans les fourreaux horizontaux 150<sub>1,2,3</sub> et verticaux 158<sub>1,2,3</sub> et 160<sub>1,2,3</sub>. L'écartement de ces lames, qui est maintenu fixe par les tringles en U 164-166, détermine la tension transversale initiale des plaques souples 140<sub>1,2,3</sub>.

Dans le cas où des panneaux alvéolaires rigides seraient utilisés en lieu et place des plaques souples, des feuilles minces à revêtement hydrophile, identiques à celles utilisées pour les plaques souples, seront préalablement collées puis soudées sur ces panneaux, par des lignes de soudure semblables, mais plus écartées, à celles réalisant les ensembles de conduits 142<sub>1,2,3</sub>, afin d'assurer la fiabilité de l'ensemble ainsi constitué. Cette opération de soudure est sensiblement identique à celle réalisée pour fabriquer les plaques souples, laquelle consiste à presser pendant quelques secondes les éléments à souder entre deux plateaux métalliques épais, pourvus de surfaces rectifiées puis usinées selon les lignes de soudures à réaliser, ces plateaux étant portés à une température adéquate, définie par le point de fusion du polymère utilisé. Dans les deux cas, les bords des fourreaux des tringles et des lames sont soudés cependant que sont marqués les bords des découpes d'extrémité des fourreaux horizontaux et les emplacements exacts des rondelles de raccordement, présentées ci-après, à mettre en place dans une étape ultérieure du processus de fabrication des plaques souples ou rigides. Chaque plaque 140<sub>1,2,3</sub> comporte, dans les coins larges, diagonalement opposés, de ses canaux communs hauts 148<sub>1,2,3</sub> et bas 163<sub>1,2,3</sub> des rondelles 172<sub>1,2,3</sub> et 174<sub>1,2,3</sub> de raccorde-

ment de ses conduits 142<sub>1,2,3</sub>. Ces rondelles et ces canaux communs coopèrent pour assurer la répartition ou la récupération du fluide caloporteur entrant dans ou sortant de ces conduits. Les lignes en pointillés, qui relient ces rondelles sur la figure 5, représentent l'emplacement des dispositifs d'alimentation des ensembles pairs ou impairs de conduits 142<sub>1,2,3</sub>, (illustrés à la figure 6), qui traversent les grandes découpes 152<sub>1,2,3</sub> des  
5 fourreaux 150<sub>1,2,3</sub>.

Selon la figure 6, le dispositif d'alimentation de six plaques creuses de rang pair comprend un empilement de six rondelles 172<sub>1-6</sub>, associé à un raccord 180 en forme de T, comprenant un premier tuyau 182, coaxial à ces rondelles, et un second à angle droit, 184. Cet empilement et ce raccord sont maintenus en place par un tirant d'assemblage 186. Chacune des rondelles 172<sub>1-6</sub> est un anneau qui mesure, par exemple,  
10 environ 17 mm d'épaisseur et 4 cm de diamètre intérieur, dans le cas de plaques prévues pour un alambic à contre-courant d'eau, et seulement 11 mm d'épaisseur mais 6 cm de diamètre intérieur, dans le cas d'un appareil à contre-courant d'air. Chaque anneau est pourvu, dans sa partie centrale, d'un rebord circulaire 188<sub>1-6</sub>, dont les faces latérales sont soudées aux faces internes des parois 190<sub>1-6</sub> et 191<sub>1-6</sub> d'une plaque 140<sub>1-6</sub> (voir fig.5) et dont l'épaisseur est sensiblement égale à l'épaisseur interne de ces plaques, soit environ 2 à 3  
15 mm. Le bord aval de l'anneau de chaque rondelle 172<sub>1-6</sub> comporte un épaulement externe 171<sub>1-6</sub> et son bord amont, un épaulement interne 173<sub>1-6</sub>. Dans le rebord circulaire 188<sub>1-6</sub> de chaque rondelle 172<sub>1-6</sub> sont percés plusieurs trous horizontaux, tels 192, de 3,5 à 4 mm de diamètre (8 trous, selon le dessin) qui, d'un côté, débouchent à l'intérieur de la rondelle et de l'autre, à l'intérieur et dans le sens de la longueur du canal commun en forme de trapèze 148<sub>1-6</sub> (voir fig.5) qui alimente les ensembles de conduits 142<sub>1-6</sub> d'une plaque  
20 140<sub>1-6</sub>.

Le tirant d'assemblage 186 comprend (1) une base d'appui 194, pourvue d'un épaulement interne 195, adapté à coopérer avec l'épaulement externe 171<sub>1</sub> de la rondelle aval 172<sub>1</sub>, (2) une tige tronconique 196, dont la longueur est déterminée par le nombre de rondelles 172 à empiler (une centaine, le cas échéant) et (3) une extrémité cylindrique filetée 198. Le tuyau 182 du raccord 180 comporte, soudés et/ou collés à ses deux  
25 extrémités, des appuis respectivement constitués par une coupelle 200, percée en son centre et un anneau 202, pourvu d'un épaulement externe 203, adapté à coopérer avec l'épaulement interne 173<sub>6</sub> de la rondelle amont 172<sub>6</sub>. La coupelle d'appui 200 est adaptée à coulisser sur l'extrémité 198 du tirant d'assemblage 186. Cette extrémité 198 comporte un logement pour un joint torique d'étanchéité 204. Un écrou 208, engagé sur l'extrémité filetée 198 du tirant 186, permet de maintenir serrées les rondelles 172<sub>1-6</sub> et de transformer leur  
30 empilement en un conduit sans fuites, pour l'alimentation des plaques creuses 140<sub>1-6</sub>. Entre les faces internes 191<sub>1,3,5</sub> et 190<sub>2,4,6</sub> des parois de plaques contiguës, qui sont soudées aux rebords circulaires 188<sub>1-6</sub> des rondelles 172<sub>1-6</sub>, apparaissent en 193<sub>1-5</sub>, sur la figure 6, les extrémités hautes des lignes de soudure qui réalisent les ensembles de conduits 142 (voir fig.5) des plaques de rang pair intercalées.

La figure 7 représente, en coupe transversale, la partie supérieure d'un ensemble de neuf plaques  
35 souples, comprenant cinq plaques froides de rang impair 140<sub>1,3,5,7,9</sub> et quatre plaques chaudes de rang pair 140<sub>2,4,6,8</sub>, alternativement disposées dans un alambic à diffusion de vapeur, utilisant le liquide à distiller comme fluide caloporteur. Ces plaques souples sont suspendues à neuf tringles en U renversé 164<sub>1-9</sub>, engagées dans des fourreaux 150<sub>1-9</sub>, en forme de trapèze, délimités par des lignes de soudure obliques 144<sub>1-9</sub>. Sur  
40 cette figure 7, les parois minces 210<sub>1-9</sub>, en polymère (notamment en polypropylène) des plaques 140<sub>1-9</sub> ainsi que leurs revêtements hydrophiles 212<sub>1-9</sub>, apparaissent clairement. Entre deux plaques contiguës, telles 140<sub>1</sub> et 140<sub>2</sub> ou 140<sub>8</sub> et 140<sub>9</sub>, sont disposés des plaquettes intercalaires 214<sub>1-6</sub>, de préférence alvéolaires, qui descendent jusqu'au sommet des ensembles de conduits 142<sub>1-9</sub> (voir fig.5) des plaques 140<sub>1-9</sub>. La longueur de

ces plaquettes 214<sub>1-9</sub> égale la largeur maximale des fourreaux 150<sub>1-9</sub> des tringles de suspension 164<sub>1-9</sub> des plaques 140<sub>1-9</sub>. La tranche supérieure de chacune des plaques froides 140<sub>3,5,7,9</sub> ainsi que les deux plaquettes intercalaires, telles 214<sub>2</sub> et 214<sub>3</sub>, qui les bordent, est recouverte d'une cape imperméable, telles 216<sub>3,5,7</sub> qui descend jusqu'au bord inférieur de ces plaquettes. Cette cape imperméable est réalisée au moyen d'une

5 feuille imperméable à revêtement hydrophile, identique au matériau constituant les plaques souples, son revêtement hydrophile 217<sub>3,5,7</sub> étant en contact avec celui 212<sub>2,4,6,8</sub> des plaques de rang pair 140<sub>2,4,6,8</sub>. Les plaquettes intercalaires d'extrémité 214<sub>1</sub> et 214<sub>8</sub>, d'un ensemble de plaques 140<sub>1-9</sub>, sont séparées de la plaque 140<sub>2</sub> pour l'une et de la plaque 140<sub>8</sub> pour l'autre, par une feuille imperméable à revêtement hydrophile 218 et 220. Ces feuilles coopèrent avec deux réglettes 222 et 224, faisant office de butées d'appui, pour constituer

10 les bords imperméables d'un tapis hydrophile 226, en contact avec la tranche supérieure du revêtement hydrophile de chacune des plaques chaudes 140<sub>2,4,6,8</sub> et du revêtement hydrophile des capes 216<sub>3,5,7</sub> de protection des plaques froides. Ce tapis hydrophile 226 est, par exemple, constitué de plusieurs couches de tissu de coton. Au-dessus de ce tapis, sont installés de place en place, des becs verseurs, tel 228, adaptés à

15 liquides qui s'écoulent des parois extérieures des plaques 140<sub>1-9</sub>, (voir fig.5) sont disposées des paquettes intercalaires (non représentées), identiques à celles 214<sub>1-8</sub> placées entre les sommets de ces mêmes plaques. Pour constituer un alambic, l'ensemble compact formé par l'assemblage de (N) plaques creuses 140<sub>1-N</sub> est maintenu resserré, grâce à des moyens de serrage conventionnels, non représentés, disposés tout autour.

Grâce aux dispositions selon les figures 5, 6 et 7 présentées ci-dessus, les plaques creuses d'un

20 alambic à diffusion de vapeur opèrent dans les meilleures conditions. En effet, sous la pression d'un fluide caloporteur liquide ou gazeux, les conduits d'une plaque souple, de même que les canaux communs de distribution et de récupération de ce fluide caloporteur dans des plaques souples ou rigides, conservent des épaisseurs correctes. Grâce aux lames verticales latérales, à espacement fixe, les conduits des plaques

25 souples ne peuvent prendre qu'une épaisseur interne limitée, d'environ 2 à 3 mm, en réponse à la pression exercée par le fluide caloporteur liquide ou gazeux qui y circule. De plus, grâce aux plaquettes intercalaires et aux moyens de serrage visés ci-dessus, les canaux communs hauts 148 et bas 163 sont eux-mêmes empêchés d'enfler sous cette même pression. Dans ces conditions, l'épaisseur de l'espace libre entre les

30 plaques 140 est maintenu à une valeur correcte, à savoir environ 5 mm, dans le cas d'un alambic à liquide caloporteur et de 2 à 3 mm seulement dans un alambic à gaz caloporteur. Cette différence d'épaisseur découle de ce que, dans un alambic à liquide caloporteur, les liquides distillé et concentré s'écoulent des revêtements de deux plaques contiguës séparées par quelques millimètres, alors que dans un alambic à gaz caloporteur, ces deux liquides circulent respectivement à l'intérieur et à l'extérieur des plaques et, de ce fait, ne risquent donc pas de se mélanger, à la suite de la moindre déformation des plaques.

Quant au pas d'assemblage de ces plaques 140, il égale la moitié de la distance séparant les

35 épaulements internes et externes des rondelles de raccordement 172<sub>1-9</sub>, soit 8,5 mm ou 5,5 mm suivant que le fluide caloporteur est un liquide ou un gaz. Pour ce qui est de ces rondelles, on notera que leur empilement, sous l'action du tirant d'assemblage 186, est réalisé d'une manière étanche, ce qui en fait une canalisation sans fuite, de longueur modulable. Par ailleurs, les trous 192 permettent, sans perte de charge notable, de faire entrer ou sortir le fluide caloporteur dans les canaux communs hauts ou bas de chaque plaque creuse.

40 Grâce aux dispositions selon la figure 7, dans un alambic à liquide caloporteur, les revêtements des plaques chaudes, affectées à l'évaporation du liquide chaud à distiller, sont les seules à être susceptibles d'être mouillées par ce liquide. En effet, grâce aux capes imperméables 216 qui recouvrent les sommets des



plaques froides ainsi que leurs deux plaquettes de séparation associées 214, le liquide chaud à distiller ne peut les atteindre, cependant que, sous l'action du revêtement hydrophile de ces mêmes capes, ce liquide chaud, qui traverse le tapis hydrophile de répartition 226 est amené, par gravité et capillarité, jusqu'aux revêtements hydrophiles de l'ensemble des conduits 142.

- 5 Lorsque le fluide caloporteur de l'alambic est le gaz incondensable saturé en vapeur du liquide à distiller, les capes 216<sub>1,2,3</sub>, indispensables dans le cas où ce fluide est un liquide, sont supprimées. Dans ce cas, les bords supérieurs des revêtements hydrophiles des plaques sont en contact direct avec le tapis hydrophile 226 de répartition du liquide à distiller. Pour laisser un passage libre au gaz caloporteur, de bas en haut des espaces de séparation entre plaques, notamment à travers les trous des plaquettes alvéolaires 214<sub>1-a</sub>, le
- 10 tapis 226 sera divisé en plusieurs bandes de 10 à 20 cm de large, séparées par des intervalles libres de même largeur et les réglettes 222-224 pourront également être supprimées cependant que plusieurs becs verseurs 228 seront utilisés. Quant aux chaussons de collecte des liquides distillé ou concentré, formés au bas de chaque plaque 142 dans le cas d'un alambic à liquide caloporteur, ils seront supprimés dans le cas d'un alambic à gaz caloporteur. Dans ce cas, le liquide concentré coulera sur le fond de la chambre de
- 15 traitement où sont installées les plaques creuses, cependant que le liquide distillé s'écoulera de l'intérieur des plaques creuses et sera collecté par des gouttières avant de se déverser dans un récipient de séparation liquide/gaz, tel que l'enveloppe 82 de l'échangeur 80.

- La figure 8 représente en A-B, des vues de profil et de dessus d'un échangeur thermique compact à faible coût et en C-D, des coupes transversales de cet échangeur et de l'ébauche de son élément actif. Selon
- 20 les figures 8A et 8C, l'échangeur thermique compact 250 comprend une enveloppe 252 qui entoure complètement un élément actif d'échange 254. Cet élément actif 254 est constitué par l'empilement d'un nombre relativement élevé (jusqu'à trente, par exemple) de paires de plaques creuses 256 a-b, à la fois allongées, symétriques et communicantes. Selon la coupe 8C, la section transversale de l'élément actif 254 a la forme d'une colonne vertébrale de poisson, pourvue d'arêtes creuses 256 a-b, obliques et parallèles entre
- 25 elles, qui se partagent un canal central commun 258. L'épaisseur interne de ces arêtes 256, de leur écart de séparation 260 et de leur canal central commun 258 est faible et sensiblement identique (2 mm, par exemple). L'épaisseur des parois de l'élément actif 254 est mince (0,5 mm, par exemple).

- Chaque plaque creuse 256 a-b de l'élément actif 254 comporte une partie centrale rectiligne dont la longueur peut varier de 30 à 100 cm environ et la largeur de 5 à 15 cm environ. Une plaque creuse 256a est
- 30 reliée à sa plaque symétrique 256b par deux raccords d'extrémités creux 262-264, en forme de demi-troncs de cône. Les axes d'empilement de ces demi-troncs de cône coïncident avec les axes des deux collecteurs qui alimentent les différentes paires de plaques creuses empilées 256 a-b et ils aboutissent aux deux tubulures de raccordement 266-268 de l'élément actif 254.

- L'enveloppe 252 est représentée transparente pour les besoins du dessin. Elle est formée de deux
- 35 demi-coquilles 251-253, à fonds respectivement convexe et concave, assemblées d'une manière étanche (soudure, collage ou joint d'étanchéité) par leurs rebords d'assemblage 255 a-b et 257 a-b. L'écart entre l'enveloppe 252 et les bords des plaques 256 de l'élément actif 254 est faible (de 1 mm, par exemple) mais il est nul le long de la crête 270 de sa paroi convexe et le long du creux 272 de sa paroi concave. L'enveloppe 252 possède deux tubulures de raccordement coaxiales 274-276 et deux ouvertures latérales au travers
- 40 desquelles passent les tubulures de raccordement 266-268 de l'élément actif 254, les bords de ces ouvertures étant soudés, collés ou assemblés avec joint d'étanchéité, à l'emplanture de ces deux tubulures 266-268.

Dans le cas où l'enveloppe 252 contiendrait plusieurs éléments actifs d'échange 254, à chaque élément correspondrait une paire coaxiale de tubulures de raccordement de l'enveloppe.

La figure 8D représente la coupe transversale de l'ébauche thermo-soufflée 276, à partir de laquelle l'élément actif d'échange thermique 254 a été fabriqué. Cette ébauche 276 comprend un empilement de soufflets biconvexes relativement longs 278, pourvus de raccords d'extrémités relativement courts (voir fig. 8A) en forme de demi troncs de cône symétriques. L'empilement des soufflets 278 est comparable à un accordéon dont les soufflets auraient des crêtes arasées 280 et des fonds étroits 282, avec des profondeurs de soufflets suffisamment importantes devant le grand diamètre des demi-cônes d'extrémités, pour permettre à ces derniers de constituer des surfaces retournables, impliquant un flambage de transition au cours de leur retournement. La transformation de l'ébauche 276 en un élément actif 254 est effectuée sous l'action d'une force axiale de compression contrôlée. Cette force a pour effet d'amener chacun des deux flancs symétriques de chaque demi soufflet convexe à passer d'un état stable à un autre, en devenant parallèle à l'un des deux flancs symétriques de chaque demi soufflet concave qui lui est associé. Dans le cas d'un élément actif en verre, la transformation des soufflets de l'ébauche en plaquettes parallèles se fera à une température particulière donnant au verre utilisé une souplesse et une élasticité adéquates.

L'ébauche 276 permet de réaliser un élément actif d'échange thermique classique. Pour un échangeur thermique devant évaporer le liquide à distiller, en accord avec ladite invention antérieure, les parois d'une ébauche 276 en polymère sont pourvues d'un revêtement hydrophile mince 284, de préférence préformé, ayant par exemple 0,1 mm d'épaisseur. Dans ce cas, l'ébauche 276 sera, à nouveau, fabriquée par thermo-soufflage d'un manchon en polymère pâteux, de forme aplatie, produit par une extrudeuse, puis introduit dans un moule comportant de multiples rainures parallèles, préalablement garnies du revêtement 284. Dans le cas d'un élément actif en verre, le procédé pour fabriquer l'ébauche est sensiblement identique à celui utilisé pour les polymères. Pour ce qui concerne le traitement chimique destiné à dépolir, pour les rendre mouillables, les faces interne et externe d'un tel élément en verre, il sera effectué suivant une technique parfaitement connue des verriers. Aux revêtements 284 (ou aux faces dépolies) des paires de plaques 254 de l'élément actif 250, est associée une couche commune de tissu hydrophile 286, qui coiffe tous les raccords d'extrémités hauts 262 de cet élément (il est vertical dans un alambic selon l'invention,). Cette couche hydrophile commune 286 est destinée à répartir uniformément, sur les revêtements 284 des plaques 254, le liquide à distiller qui sera introduit dans l'enveloppe 252, à travers sa tubulure haute 274.

Les figures 9 et 10 concernent une forme de réalisation particulière d'un module d'alambic à diffusion de vapeur utilisant un gaz incondensable saturé en vapeur du liquide à distiller comme fluide caloporteur et des échangeurs thermiques compacts, du genre décrit aux figures 8 A-B-C. La figure 9A est une vue globale d'un tel module. La figure 9B représente les détails de ce module et la figure 9C, une coupe transversale de l'un des échangeurs thermiques utilisés. Quant aux figures 10 A-B, elles représentent les détails des canalisations et des raccordements des différents fluides qui circulent dans l'alambic.

Selon les figures 9. A-B, l'alambic 290, présenté à titre d'exemple, est un module comprenant tout d'abord (1) huit échangeurs thermiques compacts, verticalement disposés, 292<sub>1-8</sub>, destinés à assurer une évaporation du liquide à distiller puis une condensation de sa vapeur, et (2) un échangeur thermique compact simple 294. Selon la figure 10C, qui est la coupe selon le plan C-C de la figure 9, l'élément actif 293<sub>1-8</sub> de chaque échangeur compact 272<sub>1-8</sub>, comporte huit paires de plaques symétriques. Selon la figure 9B, ces paires de plaques sont pourvues d'un revêtement hydrophile ou mouillable 284<sub>1-8</sub> et d'une coiffe en tissu hydrophile 286<sub>1-8</sub>, assurant une répartition uniforme du liquide à distiller sur tous les revêtements 284<sub>1-8</sub>.

Dans cet exemple d'alambic 290, chaque plaque des huit paires symétriques d'un élément actif 293<sub>1-8</sub> a 10 cm de large, 60 cm de long, 2 mm d'épaisseur interne, 0,5 mm d'épaisseur de paroi, 0,1 mm de revêtement et des écarts de séparation de 2 mm. La surface de chaque élément actif 293<sub>1-8</sub> est sensiblement de 1 m<sup>2</sup> et son volume total de 2,5 dm<sup>3</sup>. Le volume actif V d'un module de huit éléments est de 20 dm<sup>3</sup> et sa surface totale d'échange thermique, de 8 m<sup>2</sup>.

Selon la figure 10C, les huit éléments actifs 293<sub>1-8</sub> à diffusion de vapeur sont regroupés dans un enveloppe unique 296 mais ils pourraient tout aussi bien être isolés ou regroupés deux par deux ou quatre par quatre dans des enveloppes plus petites. Dans tous les cas, à chaque élément actif 293<sub>1-8</sub> sont associées deux portes coaxiales d'entrée 298<sub>1-8</sub> et de sortie 300<sub>1-8</sub>, aménagées dans la partie de l'enveloppe qui l'entoure. Selon les figures 9B et 10A-B, chaque élément actif 293<sub>1-8</sub> à diffusion de vapeur comporte, dans sa partie supérieure, une porte d'entrée latérale 302<sub>1-8</sub> et, dans sa partie inférieure, une porte de sortie latérale 304<sub>1-8</sub>, diagonalement opposée à la précédente. De même, l'échangeur thermique simple 294 comporte un élément actif 295, pourvu de portes latérales d'entrée et de sortie 305-307 et d'une enveloppe 308, pourvue de deux portes coaxiales d'entrée et de sortie 310-312.

Au-dessus de l'alambic 290, est installé un réservoir d'eau de mer 314 relié, par une canalisation 316a-b et un robinet 317, à un conduit 318 qui traverse un tube 320, dans lequel débouchent les huit portes de sortie 304<sub>1-8</sub> des éléments actifs 293<sub>1-8</sub> à diffusion de vapeur et la porte de sortie 307 de l'élément actif 295 de l'échangeur thermique simple 294. Le conduit 318 est relié à l'entrée de l'enveloppe 322 d'un échangeur thermique à contre-courant 324 et la sortie de cette enveloppe est reliée, par un tuyau 319, à une anti-chambre 326, précédant la porte d'entrée 310 de l'enveloppe 308 de l'échangeur compact simple 294. Cet échangeur 324 fait l'objet, sur la figure 9B, d'une représentation symbolique mais, sur la figure 10, sa représentation est plus conforme à la réalité. Cet échangeur thermique 324 est du genre compact et il comporte un élément actif 328, dont la coupe transversale est représentée à la figure 9C. La fonction de cet élément 328 sera précisée ci-après. L'eau de mer qui sort de l'échangeur 324 traverse l'échangeur thermique 294 puis en sort, par sa porte de sortie 312, pour pénétrer dans une chaudière 332.

Selon la figure 10A, la chaudière 332 comporte une pièce d'entrée 334, prolongée par un tube de chauffe 336, lui-même traversé par un radiateur tubulaire 338. Ce radiateur 338 possède une entrée 340 et une sortie 342, toutes deux extérieures à la chaudière 332, et il est adapté à être parcouru sans dommages par un fluide de chauffage approprié (gaz ou liquide chaud de 105 à 120°C). A cet effet, le radiateur 338 pourra être réalisé en un métal, adapté à résister à la corrosion éventuelle du gaz de chauffage utilisé, ou en un polymère (notamment du polypropylène), adapté à la température du liquide. Le tube de chauffe 336 comporte à son extrémité aval (1) une cloison 344, traversée par le radiateur tubulaire 338, (2) dans la partie supérieure de cette cloison 344, une buse calibrée 346, adaptée à engendrer un jet de vapeur 347, lorsque l'eau de mer bout dans ce tube de chauffe 336 et (3) dans la partie inférieure de ce même tube 336, un trou associé à un tuyau court 348, à section calibrée, adapté à assurer un soutirage approprié de cette eau.

La chaudière 332 est enfermée dans un conduit cylindrique allongé 350, à section circulaire, disposé à l'horizontale et, dans la partie inférieure de ce conduit, débouchent les portes de sortie 312 et 300<sub>1-8</sub> des enveloppes 308 et 296 des échangeurs thermiques 294 et 292<sub>1-8</sub>. La pièce d'entrée 334 de cette chaudière occupe l'extrémité amont du conduit 350 et elle comporte, peu après la porte de sortie 312 de l'enveloppe 308 de l'échangeur 294, une cloison épaisse 352, percée en son centre d'une ouverture en tronc de cône 354, occupée par un obturateur 356 à profil identique, adapté à progressivement fermer cette ouverture lorsqu'il est tiré vers le haut. L'obturateur 356 est relié à un flotteur 358 par deux tiges de liaison 359a-b, entre lesquelles

5 passe l'extrémité aval d'un radiateur tubulaire 338. Lorsque l'eau de mer atteint un niveau approprié dans la pièce d'entrée 334 et dans le tube de chauffe 336 de la chaudière 332, le flotteur 358 amène l'obturateur 356 à complètement fermer l'ouverture d'entrée 354 de la chaudière, laquelle opère ainsi à un niveau d'eau de mer constant, situé au-dessus du radiateur tubulaire 338. Dans la partie basse du conduit 350, sous le tube de chauffe 336 de la chaudière 332, est installée une chambre 360 de surchauffe et de sursaturation du gaz caloporteur, occupée par un plateau étroit et légèrement creux 361, recouvert de plusieurs couches de tissu hydrophile. L'eau de mer sortant du tube de chauffe 336 de la chaudière 332 par le tuyau calibré de soutirage 348, se déverse sur l'extrémité aval du plateau 361 et imbibe la totalité du tissu hydrophile. A son tour, ce plateau 361 est percé de huit trous calibrés, situés juste au-dessus des huit portes de sortie 300<sub>1-8</sub> de l'enveloppe 296 des éléments actifs 293<sub>1-8</sub> à diffusion de vapeur. Une mèche et/ou un tuyau 362<sub>1-8</sub>, engagés dans chacun des trous du plateau 361 et dans chacune des portes de sortie 300<sub>1-8</sub> de l'enveloppe 296, établissent une liaison entre le revêtement hydrophile du plateau 361 et la coiffe hydrophile 286<sub>1-8</sub> des raccords d'extrémités 274 (voir fig.8A) des éléments actifs 293<sub>1-8</sub>.

15 Le conduit cylindrique horizontal 350, entourant le tube de chauffe 336 de la chaudière 332, est relié par un tube coudé 364 à un autre conduit cylindrique horizontal 366. Dans ce conduit 366, débouchent les portes d'entrée 302<sub>1-8</sub> des éléments actifs à diffusion de vapeur 293<sub>1-8</sub> et la porte d'entrée 305 de l'élément actif 295 de l'échangeur thermique simple 294, cependant que les portes de sortie 304<sub>1-8</sub> et 307 de ces mêmes éléments actifs débouchent dans le conduit 320. Ce conduit 320 est relié par un tuyau coudé 368 à un autre conduit cylindrique horizontal 370, dans lequel débouchent les portes d'entrée 298<sub>1-8</sub> de l'enveloppe 296 des éléments actifs 293<sub>1-8</sub>. Le conduit 370 comporte, à son extrémité aval, une cloison 371 qui le sépare de l'anti-chambre 330 de l'enveloppe 308 de l'échangeur thermique simple 294, la paroi extérieure de cette anti-chambre prolongeant celle du conduit 370.

25 Au fond 372 du conduit horizontal 320, s'accumule l'eau distillée qui s'écoule des portes de sortie 304<sub>1-8</sub> et 307 des éléments actifs 293<sub>1-8</sub> et 295 et celle qui s'est condensée sur la paroi extérieure du tuyau 318 parcouru par l'eau de mer froide. Sur le fond 374 du conduit horizontal 370, s'accumule la saumure qui s'écoule des portes d'entrée de gaz caloporteur 298<sub>1-8</sub> de l'enveloppe 296. Ce fond 372 est relié à l'entrée de l'élément actif 328 de l'échangeur 324 (voir fig.10B), par un tuyau 376. La sortie de cet élément actif 328 débouche sur un tuyau 378 et une gouttière d'évacuation 379 de l'eau distillée cependant que la saumure accumulée au fond 374 du conduit 370 s'évacue par un tuyau 380 et une gouttière 381.

30 Grâce aux formes de réalisation données à l'alambic selon l'invention et aux chaudières susceptibles de l'alimenter, décrites aux figures 9 et 10 commentées ci-dessus, on dispose d'appareils de distillation, à diffusion de vapeur et à gaz caloporteur, particulièrement intéressants. Le fonctionnement général de l'alambic, décrit aux figures 9-10, est identique à celui de l'alambic décrit à la figure 4, qui a été précisé plus haut. Les (N) plaques creuses 54 sont remplacées par les huit échangeurs compacts à diffusion de vapeur 292 et les (n) plaques représentées par le tuyau 66, par l'échangeur thermique simple 294. L'élément actif 84, traversé par de l'eau froide à distiller, de l'échangeur thermique 80, est remplacé par le conduit 318 traversé de même, l'enveloppe 82 étant remplacée par le tube horizontal 320 et l'échangeur 88 est remplacé par l'échangeur 324. La gouttière 379 d'évacuation de l'eau distillée, accumulée au fond 372 du tube 320, qui s'est condensée dans les échangeurs 292<sub>1-8</sub> et 294 et dans le tube 320, et qui sort de l'élément actif 328, remplace la gouttière 116 dans laquelle se déverse l'eau distillée collectée en sortie des (N+n) plaques (54-66), au fond de l'enveloppe 82 et en sortie de l'élément actif 114. Mais l'intérêt économique de cette seconde forme de réalisation, d'un alambic à diffusion de vapeur et gaz caloporteur perfectionné selon présente

invention, est en revanche très supérieur à la première, représentée à la figure 4. Le premier volet de cette supériorité vient de la forme donnée aux échangeurs thermiques utilisés et le second, des moyens mis en œuvre pour faire circuler le gaz caloporteur dans ces échangeurs.

On notera que l'échangeur thermique 80 ou celui constitué par le tube 318 et son enveloppe 320 est un composant essentiel de l'alambic à diffusion de vapeur et gaz caloporteur, selon la présente invention. Sa fonction est d'abaisser de plusieurs dizaines de degrés la température du gaz caloporteur sortant des plaques creuses, avant de le faire entrer dans les espaces inter-plaques. Cela, afin d'avoir à l'entrée des espaces inter-plaques, un écart d'enthalpie sensiblement égal à celui engendré par la source chaude entre la sortie de ces espaces et les entrées de ces plaques, compte-tenu de la très grande différence qui existe entre les capacités calorifiques apparentes de l'air saturé à ces températures. En revanche, il apparaît que les échangeurs thermiques 88 et 324 ont pour objet de récupérer l'énergie thermique de l'eau distillée à évacuer, afin d'améliorer au mieux le COP de l'alambic. Leur suppression dans le cas d'une énergie thermique bon marché n'aurait guère d'importance. Il en est pratiquement de même pour les (n) plaques creuses représentées par le tuyau 66 ou l'échangeur 294, réalisant un échangeur thermique complémentaire entre le gaz caloporteur chaud saturé et le liquide à distiller, avant que celui-ci entre dans la chambre de chauffe de la chaudière 120 ou 332.

Si l'on compare entre eux les éléments d'échange thermique des alambics des figures 4 et 9-10, on constate tout d'abord que pour une même surface totale d'échange, les grandes plaques creuses planes du premier alambic ont un coût total de fabrication plusieurs fois supérieur à celui des plaques creusées à multiples replis des échangeurs thermiques du second et une durée de vie notablement inférieure à celle de ces échangeurs. A ces premiers avantages, on peut également ajouter ceux découlant des moyens de suspension et d'alimentation beaucoup plus simples et plus sûrs des plaques à multiples replis du second, par rapport à ceux des grandes plaques planes du premier. En outre, comme les grandes plaques planes du premier ont, par nécessité, des espaces de séparation supérieurs à ceux des plaques du second, le volume actif du premier est supérieur à celui du second, pour une même surface totale d'échange. Ce qui, par construction, entraîne pour le second alambic, un amortissement nettement plus intéressant que pour le premier et, en outre un rapport  $Q/V$ , (puissance de distillation par unité de volume) plusieurs fois plus élevé que pour le premier.

A ces avantages imputables aux seuls échangeurs compacts utilisés dans le second alambic, on ajoutera l'emploi d'un simple jet de vapeur pour faire circuler le gaz caloporteur. Ce qui permet de supprimer le ventilateur prévu à cet effet dans l'alambic de la figure 4 et ainsi de diminuer encore le montant de l'investissement à réaliser et de simplifier notablement l'exploitation de l'équipement. On notera tout d'abord les avantages couplés, apportés par la présence (1) du flotteur lié à l'obturateur d'entrée du tube de chauffe de la chaudière représentée à la figure 10A et (2) des deux trous calibrés de sortie, haut et bas respectivement, pratiqués en aval de ce tube de chauffe, pour permettre la production d'un jet de vapeur et le soutirage de l'eau chaude. Grâce à ces composants de la chaudière, on dispose d'un tube de chauffe à niveau, pression et débit constants. En effet, il est possible, au moyen d'un courant d'un fluide de chauffage quelconque, gaz ou liquide, suffisamment chaud, de porter l'eau de mer à distiller, contenue dans ce tube de chauffe, à une température supérieure à sa température d'ébullition et ainsi de créer, au-dessus du niveau d'eau, de la vapeur en surpression. L'amplitude maximale de cette surpression est déterminée par la différence de niveaux existant entre l'eau dans le réservoir d'alimentation de l'alambic et le niveau d'eau dans le tube de chauffe. A son tour, ce niveau d'eau, qui doit demeurer constant, est déterminé par la distance maximale entre le siège

invention, est en revanche très supérieur à la première, représentée à la figure 4. Le premier volet de cette supériorité vient de la forme donnée aux échangeurs thermiques utilisés et le second, des moyens mis en œuvre pour faire circuler le gaz caloporteur dans ces échangeurs.

On notera que l'échangeur thermique 80 ou celui constitué par le tube 318 et son enveloppe 320 est un composant essentiel de l'alambic à diffusion de vapeur et gaz caloporteur, selon la présente invention. Sa fonction est d'abaisser de plusieurs dizaines de degrés la température du gaz caloporteur sortant des plaques creuses, avant de le faire entrer dans les espaces inter-plaques. Cela, afin d'avoir à l'entrée des espaces inter-plaques, un écart d'enthalpie sensiblement égal à celui engendré par la source chaude entre la sortie de ces espaces et les entrées de ces plaques, compte-tenu de la très grande différence qui existe entre les capacités calorifiques apparentes de l'air saturé à ces températures. En revanche, il apparaît que les échangeurs thermiques 88 et 324 ont pour objet de récupérer l'énergie thermique de l'eau distillée à évacuer, afin d'améliorer au mieux le Cop de l'alambic. En effet, le liquide à distiller, entrant dans les espaces inter-plaques des échangeurs thermiques compacts 294, sort d'un ou de plusieurs autres échangeurs thermiques 324 du même genre, disposés entre la ou les sorties des échangeurs thermiques 292 - 294 et les moyens de collecte 376 des liquides distillés qui se condensent sur les faces internes des éléments actifs des échangeurs thermiques 292 et 294 et sur les parois du conduit 318 de l'échangeur thermique 318-320 ou de ses équivalents 250. La suppression de ces échangeurs 88 et 324, dans le cas d'une énergie thermique bon marché, n'aurait guère d'importance. Il en est pratiquement de même pour les (n) plaques creuses représentées par le tuyau 66 ou l'échangeur 294, réalisant un échangeur thermique complémentaire entre le gaz caloporteur chaud saturé et le liquide à distiller, avant que celui-ci entre dans la chambre de chauffe de la chaudière 120 ou 332.

Si l'on compare entre eux les éléments d'échange thermique des alambics des figures 4 et 9-10, on constate tout d'abord que pour une même surface totale d'échange, les grandes plaques creuses planes du premier alambic ont un coût total de fabrication plusieurs fois supérieur à celui des plaques creuses à multiples replis des échangeurs thermiques du second et une durée de vie notablement inférieure à celle de ces échangeurs. A ces premiers avantages, on peut également ajouter ceux découlant des moyens de suspension et d'alimentation beaucoup plus simples et plus sûrs des plaques à multiples replis du second, par rapport à ceux des grandes plaques planes du premier. En outre, comme les grandes plaques planes du premier ont, par nécessité, des espaces de séparation supérieurs à ceux des plaques du second, le volume actif du premier est supérieur à celui du second, pour une même surface totale d'échange. Ce qui, par construction, entraîne pour le second alambic, un amortissement nettement plus intéressant que pour le premier et, en outre un rapport Q/V, (puissance de distillation par unité de volume) plusieurs fois plus élevé que pour le premier.

A ces avantages imputables aux seuls échangeurs compacts utilisés dans le second alambic, on ajoutera l'emploi d'un simple jet de vapeur pour faire circuler le gaz caloporteur. Ce jet de vapeur 347, est adapté à entraîner, après l'avoir réchauffé, jusqu'à la température optimale  $T_1$ , et sursaturé, le courant de gaz caloporteur, qui quitte l'aval d'un tapis spongieux 361, imbibé d'eau très chaude provenant de la chambre de chauffe 336, pour pénétrer par le haut à l'intérieur des éléments actifs 293 des échangeurs 292, en fournissant, à ce courant de gaz caloporteur, une pression dynamique suffisante pour lui faire parcourir un circuit bouclé sur lui-même, à travers les plaques creuses 256 des éléments actifs 293 et leurs espaces inter-plaques 260. Ce jet de vapeur permet de supprimer le ventilateur prévu à cet effet dans l'alambic de la figure

de l'obturateur et la ligne de flottaison du flotteur. Le tube de chauffe 336 et le radiateur tubulaire 338 constituent un échangeur thermique pour fluides confinés circulant à contre-courant. Les caractéristiques de cet échangeur (matériaux, diamètres et longueurs du tube de chauffe et du radiateur tubulaire), seront déterminés en fonction des résultats à obtenir, compte-tenu des caractéristiques respectives (natures, débits, températures, capacités calorifiques) du fluide de chauffage disponible et du liquide à distiller. A titre d'exemple, pour disposer de vapeur à une surpression de 40 millibars, on portera à 101°C l'eau de mer sortant par le tube de soutirage. Cela sera obtenu, par exemple, grâce à un radiateur tubulaire en acier inoxydable adéquat, de diamètre approprié, susceptible de résister aux différents composants des gaz d'échappement à 300°C d'un moteur Diesel. Son diamètre sera relativement petit devant celui du tube de chauffe. Dans le cas où le fluide caloporteur à utiliser serait le liquide refroidissement (à environ 110°C) d'un moteur thermique, le rapport des diamètres du radiateur tubulaire et du tube de chauffe sera notablement plus grand que dans le cas précédent et le matériau utilisé pourra être le même pour les deux, du polypropylène, par exemple. Il en serait de même si le liquide de chauffage du radiateur tubulaire était de l'huile thermique (de genre ESSO 500, par exemple) chauffée le jour par une chaudière solaire appropriée, équipée d'un réflecteur cylindrico-parabolique, et stockée jour et nuit à haute température (120 ou 130°C, par exemple) et à pression atmosphérique, dans un réservoir calorifugé.

Lorsque la chaudière est arrêtée, la pression totale au-dessus du niveau d'eau dans le tube de chauffe est égale à la pression extérieure et le débit d'eau, à travers le tube de soutirage, est pratiquement nul. Lorsque la chaudière est en marche et qu'une température d'équilibre est atteinte (102°C, par exemple), la surpression au-dessus du niveau d'eau est de 60 millibars et les débits d'eau et de vapeur sont à leurs valeurs nominales. La transition entre ces deux états est très courte puisque seule la quantité d'eau présente dans le tube de chauffe est à chauffer. Toute variation de la puissance de chauffe entraîne une variation de la température de l'eau et de la pression d'équilibre de la vapeur dans le tube de chauffe. En conséquence, toute augmentation de la puissance de la puissance de chauffe se traduit par une augmentation simultanée du débit de vapeur et du débit d'eau à évaporer dans l'alambic, lequel peut, de ce fait, ne comporter qu'une seule commande et donc rendre inutile le robinet de réglage du débit d'eau salée entrant.

Sur la figure 4, la forme de réalisation de la chaudière 120 n'a pas été précisée. En pratique, il est possible d'utiliser l'une ou l'autre des chaudières décrites aux figures 9 et 10. On notera que la température de l'eau qu'elle fournit est inférieure à sa température d'ébullition. En l'absence de vapeur en surpression, le jet de vapeur 347, utilisé sur la figure 10 pour faire circuler le gaz caloporteur, ne peut donc être créé par la chaudière 120. En conséquence, un ventilateur 92 doit être utilisé pour faire circuler ce gaz. Le cas d'une chaudière incapable de produire de la vapeur en surpression est, par exemple, celui d'une chaudière solaire sans réflecteur.

L'invention n'est pas limitée aux formes de réalisation décrites.

Au cas où l'alambic à diffusion de vapeur et contre-courant d'eau, selon la figure 3, ne pourrait pas, pour des raisons pratiques d'installation, fonctionner avec un liquide caloporteur circulant par thermosiphon, une pompe sera utilisée.

L'échangeur thermique 80 de la figure 4 ou celui constitué par les conduits coaxiaux 318 et 320 de la figure 10B peut être remplacé par un échangeur thermique compact simple 250 et, dans le cas de la figure 10B, un élément actif d'échange sera associé à chaque élément actif 292 disposé en amont.

4 et ainsi de diminuer encore le montant de l'investissement à réaliser et de simplifier notablement l'exploitation de l'équipement.

On notera les avantages couplés, apportés par la présence (1) du flotteur lié à l'obturateur d'entrée du tube de chauffe de la chaudière représentée à la figure 10A et (2) des deux trous calibrés de sortie, haut et bas respectivement, pratiqués en aval de ce tube de chauffe, pour permettre la production d'un jet de vapeur et le soutirage de l'eau chaude. Grâce à ces composants de la chaudière, on dispose d'un tube de chauffe à niveau, pression et débit constants. En effet, il est possible, au moyen d'un courant d'un fluide de chauffage quelconque, gaz ou liquide, suffisamment chaud, de porter l'eau de mer à distiller, contenue dans ce tube de chauffe, à une température supérieure à sa température d'ébullition et ainsi de créer, au-dessus du niveau d'eau, de la vapeur en surpression. L'amplitude maximale de cette surpression est déterminée par la différence de niveaux existant entre l'eau dans le réservoir d'alimentation de l'alambic et le niveau d'eau dans le tube de chauffe. A son tour, ce niveau d'eau, qui doit demeurer constant, est déterminé par la distance maximale entre le siège de l'obturateur et la ligne de flottaison du flotteur. Le tube de chauffe 336 et le radiateur tubulaire 338 constituent un échangeur thermique pour fluides confinés circulant à contre-courant.

Les caractéristiques de cet échangeur (matériaux, diamètres et longueurs du tube de chauffe et du radiateur tubulaire), seront déterminés en fonction des résultats à obtenir, compte-tenu des caractéristiques respectives (natures, débits, températures, capacités calorifiques) du fluide de chauffage disponible et du liquide à distiller. A titre d'exemple, pour disposer de vapeur à une surpression de 40 millibars, on portera à 101°C l'eau de mer sortant par le tube de soutirage. Cela sera obtenu, par exemple, grâce à un radiateur tubulaire en acier inoxydable adéquat, de diamètre approprié, susceptible de résister aux différents composants des gaz d'échappement à 300°C d'un moteur Diesel. Son diamètre sera relativement petit devant celui du tube de chauffe. Dans le cas où le fluide caloporteur à utiliser serait le liquide refroidissement (à environ 110°C) d'un moteur thermique, le rapport des diamètres du radiateur tubulaire et du tube de chauffe sera notablement plus grand que dans le cas précédent et le matériau utilisé pourra être le même pour les deux, du polypropylène, par exemple. Il en serait de même si le liquide de chauffage du radiateur tubulaire était de l'huile thermique (de genre ESSO 500, par exemple) chauffée le jour par une chaudière solaire appropriée, équipée d'un réflecteur cylindrico-parabolique, et stockée jour et nuit à haute température (120 ou 130°C, par exemple) et à pression atmosphérique, dans un réservoir calorifugé.

Lorsque la chaudière est arrêtée, la pression totale au-dessus du niveau d'eau dans le tube de chauffe est égale à la pression extérieure et le débit d'eau, à travers le tube de soutirage, est pratiquement nul. Lorsque la chaudière est en marche et qu'une température d'équilibre est atteinte (102°C, par exemple), la surpression au-dessus du niveau d'eau est de 60 millibars et les débits d'eau et de vapeur sont à leurs valeurs nominales. La transition entre ces deux états est très courte puisque seule la quantité d'eau présente dans le tube de chauffe est à chauffer. Toute variation de la puissance de chauffe entraîne une variation de la température de l'eau et de la pression d'équilibre de la vapeur dans le tube de chauffe. En conséquence, toute augmentation de la puissance de chauffe se traduit par une augmentation simultanée du débit de vapeur et du débit d'eau à évaporer dans l'alambic, lequel peut, de ce fait, ne comporter qu'une seule commande et donc rendre inutile le robinet de réglage du débit d'eau salée entrant.

Sur la figure 4, la forme de réalisation de la chaudière 120 n'a pas été précisée. En pratique, il est possible d'utiliser l'une ou l'autre des chaudières décrites aux figures 9 et 10. On notera que la température de l'eau qu'elle fournit est inférieure à sa température d'ébullition. En l'absence de vapeur en surpression, le jet de vapeur utilisé sur la figure 10 pour faire circuler le gaz caloporteur, ne peut donc être créé par la



Lorsque la température de l'eau à distiller disponible est relativement élevée, supérieure à 35°C, par exemple, comme cela est le cas dans certains déserts, dont le sous-sol contient de l'eau saumâtre, il est nécessaire, pour qu'un alambic à diffusion de vapeur et contre-courant d'air fonctionne d'une manière optimale, d'abaisser notablement cette température avant de la faire entrer dans l'appareil. Pour ce faire, on utilisera les grandes plaques rectangulaires creuses 140, à revêtement hydrophile, décrites à la figure 5. Le liquide à distiller circulera par gravité à l'intérieur de ces plaques et, par gravité et capillarité, dans leur revêtement. En installant ces plaques à l'ombre, avec un bon écart entre elles, l'air sec du désert provoquera une évaporation continue d'une bonne partie de l'eau qui s'écoule dans le revêtement, ce qui aura pour effet de refroidir l'eau qui circule à l'intérieur. La température minimale susceptible d'être atteinte par un tel réfrigérateur naturel est la température du point de rosée de l'air ambiant (soit 10°C, pour de l'air sec).

Comme cela a été dit dans la demande PCT afférente à l'invention antérieure, le gaz incondensable, utilisé dans un alambic à diffusion de vapeur, peut ne pas être de l'air pur mais un mélange d'air et d'un gaz susceptible de détruire les germes infectieux que pourrait contenir l'eau à distiller.

Si l'invention concerne principalement des procédés et des appareils de production d'eau douce, à partir d'eau de mer, d'eau saumâtre ou d'eau claire polluée, elle intéresse également les industries alimentaires et chimiques, pour produire de liquides concentrés, tels que sirops ou saumures. Il est en effet particulièrement intéressant, avec les procédés et appareils de distillation selon la présente invention, et notamment ceux à gaz caloporteur, de récupérer l'énergie thermique des effluents chauds des usines concernées, pour faire fonctionner de tels appareils, équipés d'échangeurs thermiques bon marché, à multiples replis, en verre ou en polymère, et ainsi économiser des importants frais d'évaporation des différents liquides à concentrer.

25

30

35

40

chaudière 120. En conséquence, un ventilateur 92 doit être utilisé pour faire circuler ce gaz. Le cas d'une chaudière incapable de produire de la vapeur en surpression est, par exemple, celui d'une chaudière solaire sans réflecteur.

5 L'invention n'est pas limitée aux formes de réalisation décrites.

L'efficacité des alambics selon l'invention découle de l'utilisation maximale de la chaleur qui leur est fournie, ce qui impose, en préalable, le calorifugeage optimal de toutes les chambres de traitement.

Au cas où l'alambic à diffusion de vapeur et contre-courant d'eau, selon la figure 3, ne pourrait pas  
10 pour des raisons pratiques d'installation, établir une différence de niveaux appropriés, entre les extrémités hautes des plaques 10-12 et la sortie d'une chaudière 18 installée en dessous, susceptible d'engendrer une pression différentielle permettant au liquide caloporteur de circuler par thermosiphon, une pompe sera utilisée.

L'échangeur thermique 80 de la figure 4 ou celui constitué par les conduits coaxiaux 318 et 320 de la figure 10B peut être remplacé par un échangeur thermique compact simple 250 et, dans le cas de la figure  
15 10B, un élément actif d'échange sera associé à chaque élément actif 292 disposé en amont.

Lorsque la température de l'eau à distiller disponible est relativement élevée, supérieure à 35°C, par exemple, comme cela est le cas dans certains déserts, dont le sous-sol contient de l'eau saumâtre, il est nécessaire, pour qu'un alambic à diffusion de vapeur et contre-courant d'air fonctionne d'une manière optimale, d'abaisser notablement cette température avant de la faire entrer dans l'appareil. Pour ce faire,  
20 utilisera les grandes plaques rectangulaires creuses 140, à revêtement hydrophile, décrites à la figure 5. Le liquide à distiller circulera par gravité à l'intérieur de ces plaques et, par gravité et capillarité, dans le revêtement. En installant ces plaques à l'ombre, avec un bon écart entre elles, l'air sec du désert provoque une évaporation continue d'une bonne partie de l'eau qui s'écoule dans le revêtement, ce qui aura pour effet de refroidir l'eau qui circule à l'intérieur. La température minimale susceptible d'être atteinte par un  
25 réfrigérateur naturel est la température du point de rosée de l'air ambiant (soit 10°C, pour de l'air sec).

Comme cela a été dit dans la demande PCT afférente à l'invention antérieure, le gaz incondensable utilisé dans un alambic à diffusion de vapeur, peut ne pas être de l'air pur mais un mélange d'air et d'un gaz susceptible de détruire les germes infectieux que pourrait contenir l'eau à distiller.

Si l'invention concerne principalement des procédés et des appareils de production d'eau douce, à partir d'eau de mer, d'eau saumâtre ou d'eau claire polluée, elle intéresse également les industries alimentaires et chimiques, pour produire de liquides concentrés, tels que sirops ou saumures. Il est en effet particulièrement intéressant, avec les procédés et appareils de distillation selon la présente invention, et notamment ceux à gaz caloporteur, de récupérer l'énergie thermique des effluents chauds des usines concernées, pour faire fonctionner de tels appareils, équipés d'échangeurs thermiques bon marché, à multiples replis, en verre ou  
35 polymère, et ainsi économiser des importants frais d'évaporation des différents liquides à concentrer.

## REVENDECATIONS

1. Procédé de distillation à multiple effet, destiné à séparer de leur solvant liquide des matières en solution, dans lequel :
- des échanges thermiques à contre-courant sont effectués par un fluide caloporteur unique (gaz ou liquide) circulant en circuit fermé de haut en bas puis de bas en haut le long de surfaces, verticales ou inclinées, liées par une conductance thermique importante ;
  - lesdites surfaces sont des faces de parois de plaques creuses d'échange thermique, à faible épaisseur interne, installées en grand nombre dans une chambre de traitement calorifugée, avec des espaces de séparation étroits, de largeur sensiblement constante, remplis d'un gaz incondensable et notamment d'air ;
  - du liquide à distiller chaud s'écoule lentement en couches fines, de haut en bas des faces externes des parois des plaques d'échange thermique, à l'intérieur desquelles circule de haut en bas le fluide caloporteur ;
  - le courant descendant de fluide caloporteur se refroidit au cours de son trajet, cependant que le liquide à distiller s'évapore et se refroidit et que la vapeur produite diffuse dans ledit gaz incondensable ;
  - le courant ascendant de fluide caloporteur se réchauffe au cours de son trajet, sous l'effet d'une récupération de la chaleur latente de condensation d'une partie importante de la vapeur diffusée ;
  - une source chaude est disposée entre les extrémités les plus chaudes desdites surfaces d'échange thermique et une source froide, abaissant d'une valeur appropriée la température du fluide caloporteur,
  - ladite chambre opérant à une pression totale sensiblement constante, la température et la pression partielle de vapeur diminuent continuellement de haut en bas de ces espaces ;
  - caractérisé en ce que :
    - un écart d'enthalpie ( $dH$ ) sensiblement constant est établi entre lesdites surfaces d'échange thermique;
  - les températures du fluide caloporteur ( $T_1$ ,  $T_2$ ) et ( $T_3$ ,  $T_4$ ), aux extrémités hautes et basses de ces surfaces, sont déterminées à partir du maximum du Critère Intrinsèque d'Efficacité  $C_{IE}$  du système, avec  $C_{IE} = Q^2/P.V$ , dans lequel ( $Q$ ) est la puissance thermique de distillation échangée, ( $P$ ), la puissance thermique fournie par la source chaude et ( $V$ ), le volume actif du système.
2. Procédé de distillation à diffusion de vapeur, selon la revendication 1, notamment pour produire de l'eau douce ou des concentrés, dans lequel :
- le fluide caloporteur est le liquide à distiller ;
  - les plaques creuses d'échange thermique sont chaudes ou froides et elles sont alternativement installées dans la chambre de traitement calorifugée ;
  - le liquide caloporteur, initialement très chaud, à la température  $T_1$ , descend en se refroidissant jusqu'à la température  $T_3$ , à l'intérieur des plaques chaudes tout en provoquant l'évaporation du liquide à distiller puis, après avoir été légèrement refroidi jusqu'à la température  $T_4$ , il remonte en se réchauffant jusqu'à la température  $T_2$ , à l'intérieur des plaques froides, tout en assurant une condensation de la vapeur diffusée dans le gaz incondensable ;
  - les flux de chaleur traversent les parois de ces plaques ainsi que les couches immobiles de gaz incondensable qui les séparent et les écarts de température ( $T_1 - T_2$ ) et ( $T_3 - T_4$ ) demeurent faibles et sensiblement égaux ;

- la vapeur se condense sur les parois externes des plaques froides, le liquide distillé descend le long de leurs parois et le liquide concentré s'écoule le long des parois externes des plaques chaudes ;
  - caractérisé en ce que :
    - la température optimale  $T_1$  du liquide caloporteur, en haut des plaques chaudes, est aussi peu que possible inférieure à la température d'ébullition de ce liquide, à la pression atmosphérique ;
    - la température optimale  $T_3$  du liquide caloporteur, en bas des plaques chaudes, est relativement élevée et située dans une plage qui correspond à une zone entourant le maximum du Critère Intrinsèque d'Efficacité  $C_{IE}$  du système.
- 10 3. Procédé de distillation à diffusion de vapeur et liquide caloporteur, selon la revendication 2, caractérisé en ce que :
- la correspondance, entre la plage optimale des températures  $T_3$  et le maximum de  $C_{IE}$ , est réalisée par l'intermédiaire de leurs relations respectives avec une variable composite  $(t.dT)$ , dans laquelle  $(t)$  est le temps de transit du liquide caloporteur dans les plaques et  $(dT)$ , l'écart de température entre les liquides circulant
- 15 dans les plaques froides et chaudes ;
- la plage optimale des températures  $T_3$  est l'intervalle 64–74°C;
  - l'écart optimal de température  $(dT)$  est établi par un ajustement du rapport entre la puissance de chauffe de la source chaude et le débit massique  $(D)$  de liquide caloporteur circulant ;
  - la valeur optimale choisie pour  $(dT)$  est relativement élevée lorsque le coût unitaire de l'énergie thermique,
- 20 aisément disponible sur le lieu de mise en œuvre du procédé, est relativement faible ;
- le temps de transit optimal  $(t)$  du fluide caloporteur dans les plaques d'échange thermique est établi par ajustement du débit massique  $(D)$  du liquide caloporteur circulant.
- 25 4. Procédé de distillation à diffusion de vapeur et liquide caloporteur, selon la revendication 2 ou 3, caractérisé en ce que :
- un échange thermique approprié, de préférence à contre-courant, est effectué entre la totalité du débit de liquide à distiller entrant et les deux débits de liquides, distillé et concentré, sortant du système, de manière à porter la température de ce débit entrant à une valeur intermédiaire optimale, relativement élevée ;
  - un mélange est effectué entre ce débit entrant ainsi réchauffé et le liquide caloporteur sortant des plaques
- 30 chaudes, de manière à faire prendre au liquide caloporteur entrant dans les plaques froides, ladite température optimale relativement élevée  $T_3$ , correspondant à la zone entourant le maximum de  $C_{IE}$ .
5. Procédé de distillation à diffusion de vapeur, selon la revendication 1, notamment pour produire de l'eau douce ou des concentrés, dans lequel :
- 35 - le fluide caloporteur est ledit gaz incondensable, saturé en vapeur du liquide à distiller ;
- du liquide à distiller chaud, répandu en haut des faces externes des parois de toutes les plaques creuses d'échange thermique, s'étale et descend sur ces mêmes faces, en s'évaporant et en se refroidissant ;
  - le gaz caloporteur, initialement chaud, à la température  $T_1$ , circule en descendant et se refroidissant jusqu'à la température  $T_3$ , à l'intérieur de ces plaques creuses puis, après avoir été refroidi d'une valeur appropriée,
- 40 jusqu'à la température  $T_4$ , en remontant et en se réchauffant jusqu'à la température  $T_2$ , dans les espaces qui les séparent ;

- les flux de chaleur traversent les parois de ces plaques creuses cependant que de la vapeur se condense sur les faces internes de ces parois ;
  - le liquide distillé descend sur les faces internes des parois de ces plaques creuses, cependant que le liquide concentré s'écoule le long de leurs faces externes.
- 5 - caractérisé en ce que :
- la température optimale  $T_4$  du gaz caloporteur, en bas des espaces inter-plaques, est aussi proche que possible de la température minimale de la source froide naturelle disponible sur place ;
  - la température optimale  $T_1$  du gaz caloporteur en haut des plaques creuses est située dans une plage qui correspond à une zone entourant le maximum du Critère Intrinsèque d'Efficacité ;
- 10 - l'écart de température ( $T_1 - T_2$ ) est faible et l'écart ( $T_3 - T_4$ ), important.

6. Procédé de distillation à diffusion de vapeur et gaz caloporteur, selon la revendication 5, caractérisé en ce que :

- la correspondance entre la plage optimale des températures  $T_1$  et la zone du maximum de  $C_{IE}$  est réalisée
- 15 par l'intermédiaire de leurs relations respectives entre une variable composite ( $t.dH/V$ ), dans laquelle ( $t$ ) est le temps de transit dans les plaques et ( $dH$ ) un écart sensiblement constant d'enthalpie entre les faces interne et externe des parois des plaques ;
- la plage optimale des températures  $T_1$  est l'intervalle  $77 - 84^\circ\text{C}$  ;
  - l'écart optimal d'enthalpie ( $dH$ ), entre les parois interne et externe des plaques, est établi par ajustement du
- 20 rapport entre la puissance de chauffe de la source chaude et le débit massique ( $D$ ) du gaz caloporteur circulant;
- la valeur optimale de ( $dH$ ) est relativement élevée lorsque le coût de l'énergie thermique, aisément disponible sur le lieu de mise en œuvre du procédé, est relativement faible ;
  - le temps de transit ( $t$ ) du gaz caloporteur dans les plaques d'échange thermique est établi par ajustement du
- 25 débit massique ( $D$ ) de ce gaz.

7. Procédé de distillation à diffusion de vapeur et à gaz caloporteur, selon la revendication 5 ou 6, dans lequel le gaz caloporteur est introduit à une température  $T_1$ , en haut d'un grand nombre ( $N$ ) de plaques creuses d'échange thermique à diffusion de vapeur, cependant que du liquide à distiller, fourni à une

30 température proche de  $T_1$ , est répandu en haut des parois externes de ces mêmes ( $N$ ) plaques ;

- caractérisé en ce que :
  - le gaz caloporteur sortant du bas des ( $N$ ) plaques creuses, à la température  $T_3$ , est très fortement refroidi par un premier échange thermique à contre-courant avec le liquide à distiller entrant, lequel est à une température naturelle aussi basse que possible, avant d'être introduit à la température  $T_4$ , en bas des
- 35 espaces inter-plaques, du liquide distillé étant condensé au cours cet échange ;
- le liquide à distiller sortant de ce premier échange aboutit à l'entrée de la chambre de chauffe d'une chaudière ;
  - le courant de gaz caloporteur, qui sort du haut des espaces inter-plaques, à la température  $T_2$ , est réchauffé et saturé en vapeur, par un contact physique avec le liquide à distiller sortant de la chambre de chauffe, avant
- 40 d'être réintroduit à la température  $T_1$  à l'intérieur des ( $N$ ) plaques creuses ;
- le liquide à distiller, refroidi par son contact avec le gaz caloporteur sortant des espaces inter-plaques, est répandu en haut des parois externes des ( $N$ ) plaques d'échange thermique ;

- le liquide distillé condensé au cours du premier échange est ajouté à celui récupéré en bas des (N) plaques creuses, le liquide concentré étant recueilli au bas des parois externes de ces (N) plaques.

8. Procédé de distillation selon la revendication 7, caractérisé en ce que :

- 5 - une petite partie de gaz caloporteur saturé, à la température  $T_1$ , est introduite dans un petit nombre (n) de plaques creuses, pour y être refroidie par un deuxième échange thermique avec le liquide à distiller sortant d'un troisième échange thermique ;
- le liquide à distiller sortant de ce deuxième échange thermique est introduit dans la chambre de chauffe de la chaudière, en lieu et place de celui sortant précédemment du premier échange thermique ;
- 10 - la partie de gaz caloporteur, ainsi refroidie au cours de sa traversée de ces (n) plaques, est mélangée avec le gaz caloporteur sortant des (N) plaques, puis le mélange est soumis audit premier échange thermique, pour en sortir à ladite température  $T_4$  ;
- le liquide à distiller sortant du premier échange thermique est réchauffé, au cours dudit troisième échange thermique, par le liquide distillé qui s'est condensé sur les faces internes des parois des (N+n) plaques ;
- 15 - les liquides distillés produits en sortie de ces (N+n) plaques creuses et au cours du premier échange thermique, sont mélangés puis évacués.

9. Procédé de distillation selon la revendications 7 ou 8, caractérisé en ce que la chaudière ayant une puissance thermique limitée, la température du liquide à distiller, présent dans la chambre de chauffe, est inférieure à sa température d'ébullition et la circulation en circuit fermé du gaz caloporteur, dans les plaques creuses et les espaces inter-plaques, est assurée par un ventilateur.

10. Procédé de distillation selon la revendication 7 ou 8, caractérisé en ce que :

- la chambre de chauffe de la chaudière opère à niveau de liquide constant ;
- 25 - la température du liquide à distiller, présent dans cette chambre de chauffe, est établie à une valeur un peu supérieure à sa température d'ébullition standard ;
- un jet de vapeur approprié, échappé de cette chambre de chauffe, fait circuler en circuit fermé, le gaz caloporteur dans les plaques creuses et les espaces inter-plaques ;
- les débits de liquide chaud et de vapeur, produits par la chambre de chauffe, dépendent directement de la puissance de chauffe variable de la chaudière.
- 30

11. Alambic à diffusion de vapeur et liquide caloporteur, notamment pour produire de l'eau douce ou des concentrés, selon l'une des revendications 2, 3, 4, comprenant :

- un grand nombre de plaques creuses minces, chaudes (10) ou froides (12), alternativement installées, verticales ou inclinées, dans une chambre de traitement calorifugée, avec des espaces inter-plaques étroits (14), remplis d'un gaz incondensable, notamment d'air ;
- des moyens pour faire circuler en circuit fermé le liquide à distiller chaud, en descente à l'intérieur des plaques chaudes puis en remontée, à l'intérieur des plaques froides ;
- une source chaude (17-18-19) disposée entre les extrémités hautes des plaques froides et chaudes ;
- 40 - une source froide (20-22) , disposée entre les extrémités basses des plaques chaudes et froides ;
- des moyens (11a-b et 13 a-b) pour respectivement raccorder les extrémités hautes et basses des plaques (10-12) à l'entrée et à la sortie des sources chaude et froide ;

- des moyens (11c) pour répandre du liquide à distiller chaud, en haut des faces externes des plaques chaudes, lesquelles comportent un revêtement hydrophile ou mouillable (16) ;
- des moyens (32) pour recueillir le liquide distillé qui descend le long des faces externes des plaques froides et des moyens semblables (30) pour recueillir le liquide concentré qui s'écoule dans les revêtements (16) des
- 5 plaques chaudes (10) ;
- caractérisé en ce qu'il comporte :
  - une source chaude (17), adaptée à porter la température du liquide à distiller à une valeur aussi proche que possible de sa température d'ébullition à pression atmosphérique ;
  - un échangeur thermique (22) comportant une enveloppe (28) enfermant deux éléments actifs (24-26), cet
  - 10 échangeur étant de préférence du genre compact à multiples replis (250) ;
  - un réservoir (36), disposé au-dessus des plaques, contenant le liquide à distiller, relié à travers un robinet (34) à l'entrée de l'enveloppe (28) ;
  - et en ce que :
    - les moyens (30-32) de collecte des liquides distillé et concentré sont reliés aux entrées des éléments actifs
    - 15 (24-26) et les sorties de ces éléments aboutissent respectivement à des gouttières d'évacuation (38-40) ;
    - la sortie de l'enveloppe (28) est reliée à une entrée d'un mélangeur (20), dont l'autre entrée est reliée, par le dispositif de raccordement (11b), à la sortie des plaques chaudes (10), et la sortie de ce mélangeur (20), est reliée par le dispositif de raccordement (13b) à l'entrée des plaques froides (12), la température du liquide à distiller étant alors  $T_4 = (T_3 - dT)$  ;
    - 20 - les moyens, pour faire circuler le liquide à distiller dans les plaques creuses (10-12), sont adaptés à déterminer un temps de transit (t) de ce liquide dans ces plaques, qui donne à la variable composite (t.dT) une valeur correspondant à la température optimale  $T_3$ .

12. Alambic à diffusion de vapeur et liquide caloporteur selon la revendication 11, caractérisé en ce que

25 les moyens pour faire circuler le liquide à distiller dans les plaques sont constitués soit par une pompe soit par une pression différentielle, réalisant une circulation par thermosiphon, cette pression différentielle étant engendrée par une différence de niveaux appropriée, entre les extrémités hautes des plaques (10-12) et la sortie d'une chaudière (18), installée en dessous.

- 30 13. Alambic à diffusion de vapeur et gaz caloporteur, selon l'une des revendications 5, 6, 7, comprenant :
- un grand nombre (N) de plaques creuses d'échange thermique minces (54), installées, verticales ou inclinées, dans une chambre de traitement calorifugée, avec des espaces de séparation étroits (58), remplis d'un gaz incondensable, notamment d'air ;
  - 35 - des moyens pour faire circuler, en circuit fermé, le gaz incondensable, saturé en vapeur du liquide à distiller, en descente, à l'intérieur (56) des plaques (54), et en remontée, dans les espaces inter-plaques (58) ;
  - des moyens pour répandre le liquide à distiller chaud, en haut des plaques (54) ;
  - des moyens (108-116) pour recueillir le liquide distillé, condensé sur les faces internes des plaques, et des moyens (104-106) pour recueillir le liquide condensé qui s'écoule le long de leurs faces externes ;
  - 40 - une source chaude, disposée entre les extrémités hautes des plaques (54) et des espaces inter-plaques (58) et une source froide, disposée entre leurs extrémités basses ;
  - caractérisé en ce que :

- la source chaude est installée juste au-dessus des plaques (54) et des espaces inter-plaques (58), au milieu du courant de gaz caloporteur sortant de ces espaces pour entrer dans les plaques creuses (54), les températures amont et aval de ce courant étant  $T_2$  et  $T_1$ , et elle est constituée par un tapis spongieux (100), disposé sur un plateau (98), au fond percé de trous, associés à des conduits et/ou mèches de répartition (102),
- 5 ce plateau (98) étant installé sous un tube de soutirage (124) du liquide à distiller chaud présent dans la chambre de chauffe (118) d'une chaudière (120) ;
- la source froide est constituée par un premier échangeur thermique (80), de préférence du genre compact à multiples replis (250), comportant un élément actif (84) enfermé dans une enveloppe (82) ;
- l'entrée de l'élément actif (84) est reliée à un réservoir (76) de liquide froid à distiller, le cas échéant, à travers
- 10 un dispositif auxiliaire de refroidissement naturel, et sa sortie, reliée par des moyens appropriés (87 et/ou 66) à l'entrée de la chambre de chauffe (118) de la chaudière (120) ;
- l'entrée de l'enveloppe (82) est reliée à la sortie des (N) plaques creuses (54) et sa sortie, à l'entrée d'un ventilateur (92), installé au bas des espaces inter-plaques (58), adapté à faire circuler le gaz caloporteur de bas en haut des espaces inter-plaques (58) et de haut en bas de l'intérieur (56) des (N) plaques (54) ;
- 15 - l'enveloppe (82) comporte un conduit (83) d'évacuation de l'eau distillée produite, qui coopère avec les moyens (108-116) destinés à recueillir celle qui s'écoule en bas des (N) plaques creuses.

14. Alambic à diffusion de vapeur et liquide caloporteur selon la revendication 13, caractérisé en ce que :

- 20 - un petit nombre (n) de plaques creuses (66) est installé au voisinage des (N) plaques (54), pour constituer un deuxième échangeur thermique à contre-courant, entre une petite partie de gaz caloporteur saturé, à la température  $T_1$  et le liquide à distiller, circulant dans leur espace inter-plaques (67), qui sort d'un troisième échangeur thermique (88), disposé entre la sortie du premier échangeur thermique (80) et les moyens de collecte (108-112) des liquides distillés qui s'écoulent sur les faces internes des (N+n) plaques creuses (54 et
- 25 66) ;
- les courants de gaz caloporteur qui sortent des (N) plaques (54) et des (n) plaques (66) sont mélangés et introduits ensemble dans l'enveloppe (82) du premier échangeur thermique (80).
- l'eau douce qui sort des (n) plaques est ajoutée à celle qui sort des (N) plaques et de l'enveloppe (82) .

- 30 15. Alambic à diffusion de vapeur et fluide caloporteur, liquide ou gazeux, selon la revendication 11 ou 13, caractérisé en ce que les moyens, pour raccorder les canaux communs hauts (148) et bas (163) des conduits (142) de grandes plaques creuses rectangulaires (10-12 ou 54-66), de rang pair ou impair, aux entrées et sorties des sources chaude (17-18-19 ou 118-120-122) et froide (20-22 ou 80), sont constitués par :
- deux rondelles de raccordement (172-174), insérées dans deux coins opposés des plaques, chaque rondelle
- 35 étant pourvue (1) de plusieurs trous (192), pratiqués dans son épaisseur, dirigés vers les canaux communs hauts (148) ou bas (163) des conduits (142) des plaques, (2) d'un rebord circulaire (188) dont les deux faces sont soudées aux faces internes des plaques creuses et (3) d'épaulements amont et aval d'assemblage (171-173) ;
- chaque rondelle (172-174) ayant une épaisseur égale au double du pas d'installation des plaques (10-12 ou
- 40 54-66), une découpe (188) est pratiquée dans le coin supérieur libre de ces plaques ;
- les rondelles sont empilées et fortement serrées, de manière à constituer une canalisation sans fuite, par un tirant d'assemblage (186), comportant une base (194) en appui sur la rondelle aval de l'empilement, une tige



(196) de longueur appropriée et un raccord en forme de T (180), dont l'élément, coaxial à l'empilement des rondelles, a ses deux extrémités équipées d'appuis, l'un en anneau (202) en contact avec la rondelle amont de l'empilement et l'autre en forme de coupelle (200), percée d'un trou central traversé par l'extrémité, pourvue d'un joint torique d'étanchéité (204), du tirant (186), la partie extrême de ce tirant étant filetée et pourvue d'un  
5 écrou de serrage (208).

16. Alambic à diffusion de vapeur et liquide caloporteur, selon la revendication 11, caractérisé en ce que les moyens, pour répandre le liquide à distiller chaud en haut des revêtements (16) des plaques chaudes (10), comprennent un ou plusieurs conduits (228) débouchant au-dessus d'un tissu spongieux (226), disposé au-  
10 dessus des plaques chaudes (10) et froides (12), les parties hautes de ces plaques (10-12) étant séparées les unes des autres par des plaquettes alvéolaires (214) et les plaques froides (12) ainsi que les deux plaquettes (214) qui leur sont contiguës, étant protégées de tout contact avec ce liquide chaud, par des capes imperméables (216), de préférence pourvues de revêtements hydrophiles (217), en contact avec celui (16) des plaques chaudes (10).

15 17. Alambic à diffusion de vapeur et gaz caloporteur, selon la revendication 13, caractérisé en ce que les moyens, pour répandre le liquide à distiller chaud en haut des revêtements (60) des plaques (54), sont constitués par un ou plusieurs conduits (102) associés à des becs verseurs (228) débouchant au-dessus de bandes de tissu spongieux (226), disposées, à une certaine distance les unes des autres, au-dessus des  
20 plaques (54), les parties hautes de ces plaques étant séparées les unes des autres par des plaquettes alvéolaires (214), des sections de ces plaquettes débouchant dans les espaces qui séparent les bandes de tissu spongieux.

18. Echangeur thermique à multiples replis et faible coût (250), réalisé par compression contrôlée d'une  
25 ébauche à paroi mince (276), ayant la forme de soufflets d'accordéon fabriqués par thermosoufflage, ledit échangeur étant destiné, seul ou en nombre, à assurer l'évaporation du liquide chaud à distiller et la condensation de sa vapeur, dans un alambic à diffusion de vapeur et gaz caloporteur, selon l'un des procédés de distillation décrits dans les revendications 5 à 7, comprenant :

- un ou plusieurs éléments actifs d'échange (254), en polymère ou en verre, installés fixes dans une enveloppe  
30 (251), cette enveloppe est pourvue de deux tubulures de connexion (274-276) et formée par deux demi-coquilles (251-253) soudées, collées ou fixées d'une manière étanche, l'une à l'autre, de manière à entourer complètement, avec un faible écart, ce ou ces éléments actifs (254) ;
- chaque élément actif d'échange (254) est constitué par une pièce allongée unique, à multiples replis longitudinaux, constituant un empilement de paires symétriques de plaques creuses communicantes (256 a-b) ;
- 35 - la section droite de cet empilement est en forme de colonne vertébrale de poisson, pourvue d'arêtes creuses, obliques, parallèles entre elles, qui se partagent un canal central commun (258), occupant tout le plan de symétrie de l'empilement ;
- l'épaisseur interne de ces arêtes (256) est très petite et l'écart (260) entre elles, de même que la largeur du canal commun (258), sont du même ordre de grandeur que cette épaisseur interne ;
- 40 - ces paires symétriques de plaques creuses ont leurs deux extrémités reliées les unes aux autres, par deux courts raccords creux (262-264), chacun formé à partir de deux surfaces retournables, notamment de deux demi-troncs de cône symétriques ;

- chaque paire de plaques creuses (256 a-b) participe à deux collecteurs d'alimentation dont les axes sont confondus avec les axes d'empilement de ses raccords d'extrémités ;
  - l'une des extrémités de chaque collecteur se termine par l'une des deux tubulures (264-266) de connexion d'un élément actif (254), ces tubulures étant soudées, collées ou fixées d'une manière étanche, aux bords d'ouvertures pratiquées dans les fonds des deux demi-coquilles (251-253) de l'enveloppe et, de préférence, diagonalement opposées ;
  - caractérisé en ce que :
    - lorsque l'élément actif (254) est en polymère, un revêtement hydrophile (282) est fixé sur la paroi externe de chaque paire de plaques (256 a-b) ;
    - lorsque l'élément actif (254) est en verre, les faces externes et, le cas échéant les faces internes, de ses plaques sont dépolies par un traitement chimique approprié, afin de devenir mouillables ;
    - une couche hydrophile (286) est installée sur les sommets des différentes paires de plaques de chaque élément actif (254), juste en dessous de la tubulure de raccordement (274) de l'enveloppe de cet élément.
19. Alambic à diffusion de vapeur et gaz caloporteur, selon l'une des revendications 5, 6, 7, caractérisé en ce qu'il comprend:
- un nombre plus ou moins élevé d'échangeurs thermiques à multiples replis (292), selon la revendication 18, destinés à assurer l'évaporation du liquide chaud à distiller et la condensation de sa vapeur ;
  - la source chaude (318) de la chaudière (332) est constituée par un radiateur tubulaire (338), destiné à être parcouru par un fluide chauffage approprié, et elle est adaptée à porter le liquide à distiller, contenu dans une chambre de chauffe (336), à une température légèrement supérieure à sa température d'ébullition à pression atmosphérique, de manière à y produire de la vapeur sous pression ;
  - le liquide à distiller est introduit, à travers une ouverture en tronc de cône (354) et un obturateur (356), solidaire d'un flotteur (358), dans une pièce d'entrée (334), aménagée en amont de la chambre de chauffe (336), afin de maintenir constant le niveau de ce liquide dans cette chambre ;
  - la chambre de chauffe (336) comporte en son aval une ouverture calibrée (346), à travers laquelle s'échappe un jet de vapeur (347), adapté à entraîner, après l'avoir réchauffé, jusqu'à la température optimale  $T_1$ , et sursaturé, le courant de gaz caloporteur, qui quitte l'aval d'un tapis spongieux (361), imbibé d'eau très chaude provenant de la chambre de chauffe (336), pour pénétrer par le haut à l'intérieur des éléments actifs (293) des échangeurs (292), en fournissant, à ce courant de gaz caloporteur, une pression dynamique suffisante pour lui faire parcourir un circuit bouclé sur lui-même, à travers les plaques creuses (256) des éléments actifs (293) et leurs espaces inter-plaques (260) ;
  - le fond de la chambre de chauffe (336) comporte un tube de soutirage (348), débouchant au-dessus du tapis spongieux (361), installé sur un plateau percé de trous, associés à des tubes et/ou mèches (362), adaptés à faire tomber du liquide chaud à distiller, sur les couches hydrophiles (286) recouvrant les sommets des plaques des éléments actifs (293) ;
  - la source froide est constituée par un échangeur thermique à contre-courant, comprenant soit un tube (320) parcouru par le gaz caloporteur sortant des éléments actifs (293) des échangeurs (292) par leurs portes (304), traversé par un conduit (318) dans lequel circule, à contre-courant du gaz, le liquide à distiller, amené par un tuyau (316b), à la température naturelle la plus froide, disponible sur le lieu d'exploitation, soit des échangeurs thermiques compacts à multiples replis (250), installés en sortie des éléments actifs (293) pour assurer les mêmes fonctions que le tube (320) et le conduit (318).

20. Alambic selon la revendication 19, caractérisé en ce que :

- un nombre d'échangeurs thermiques à multiples replis (294), notablement plus petit que celui des échangeurs thermiques (292) assurant l'évaporation du liquide à distiller et la condensation de sa vapeur, est  
5 installé au voisinage de ces derniers, pour réaliser un échange thermique à contre-courant, entre une petite partie de gaz caloporteur saturé, à la température  $T_1$  circulant dans leurs éléments actifs et le liquide à distiller, circulant dans leurs espaces inter-plaques ;
- le liquide à distiller sortant de ce petit nombre d'échangeurs (294) aboutit à la pièce d'entrée (334) de la chambre de chauffe (336) ;
- 10 - le liquide à distiller, entrant dans les espaces inter-plaques des échangeurs thermiques compacts (294), sort d'un ou de plusieurs autres échangeurs thermiques (324) du même genre, disposés entre la ou les sorties des échangeurs thermiques (292 - 294) et les moyens de collecte (376) des liquides distillés qui se condensent sur les faces internes des éléments actifs des échangeurs thermiques (292) et (294) et sur les parois du conduit (318) de l'échangeur thermique (318 - 320) ou de ses équivalents (250).

15

20

25

30

35

40

FIGURE 1

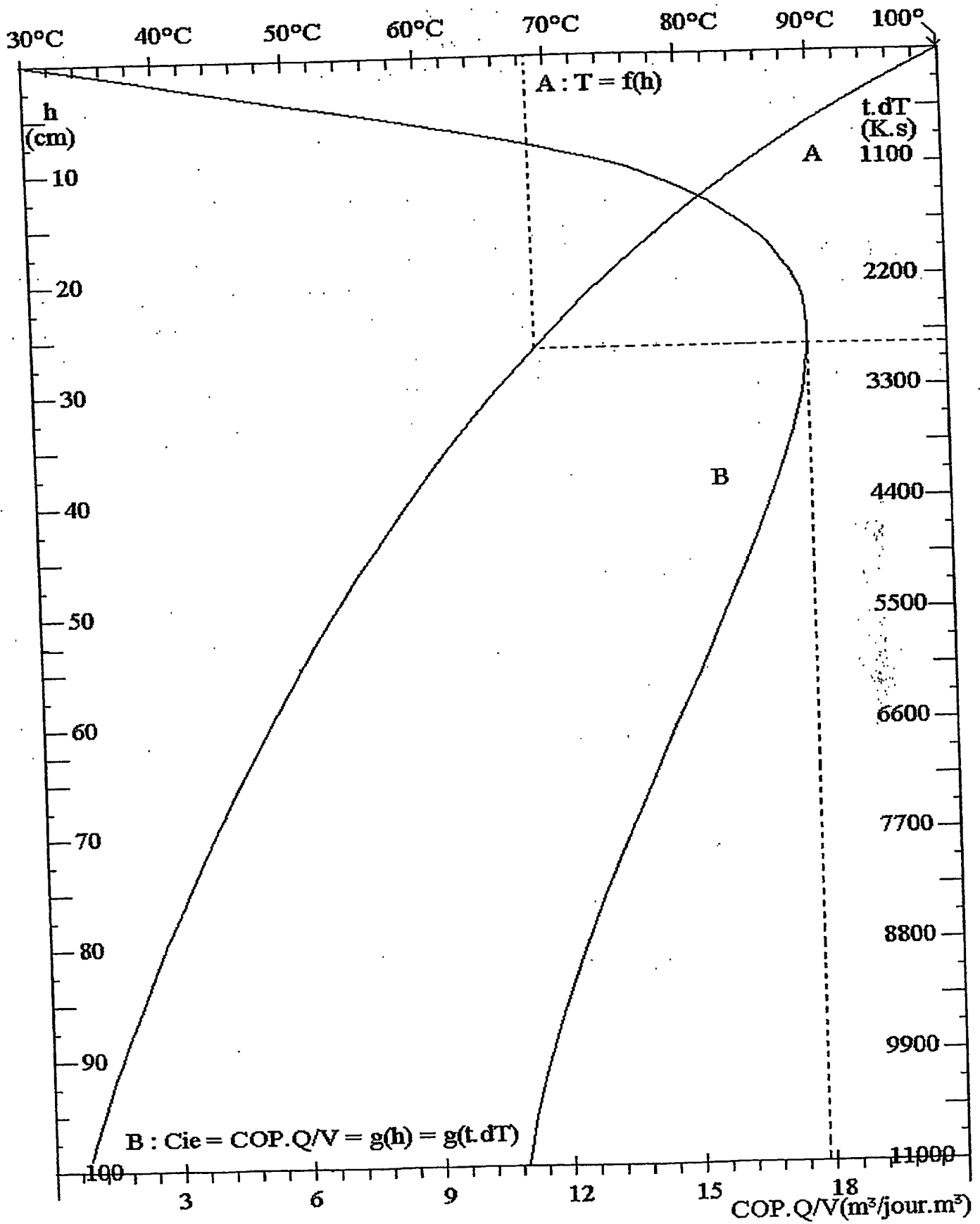
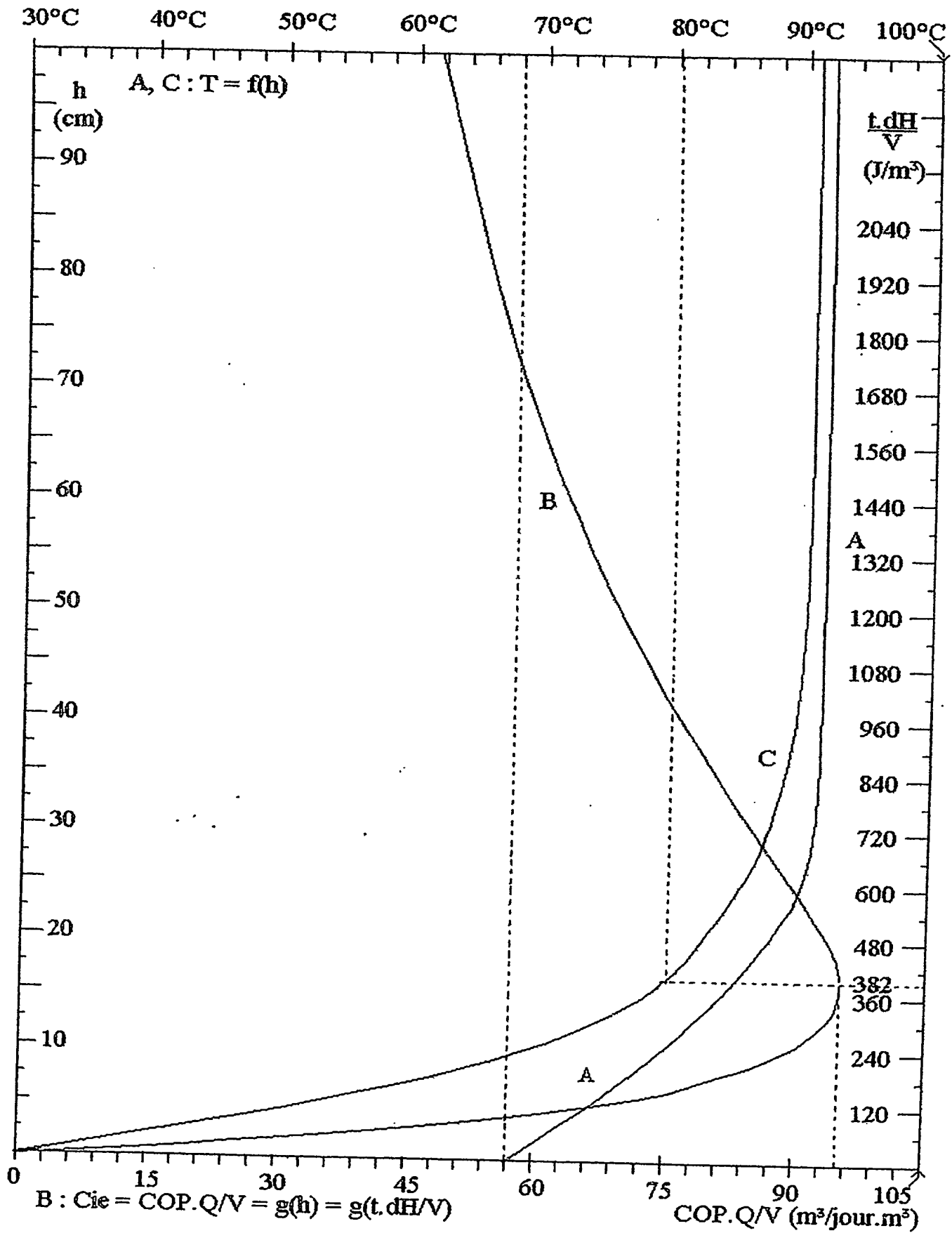
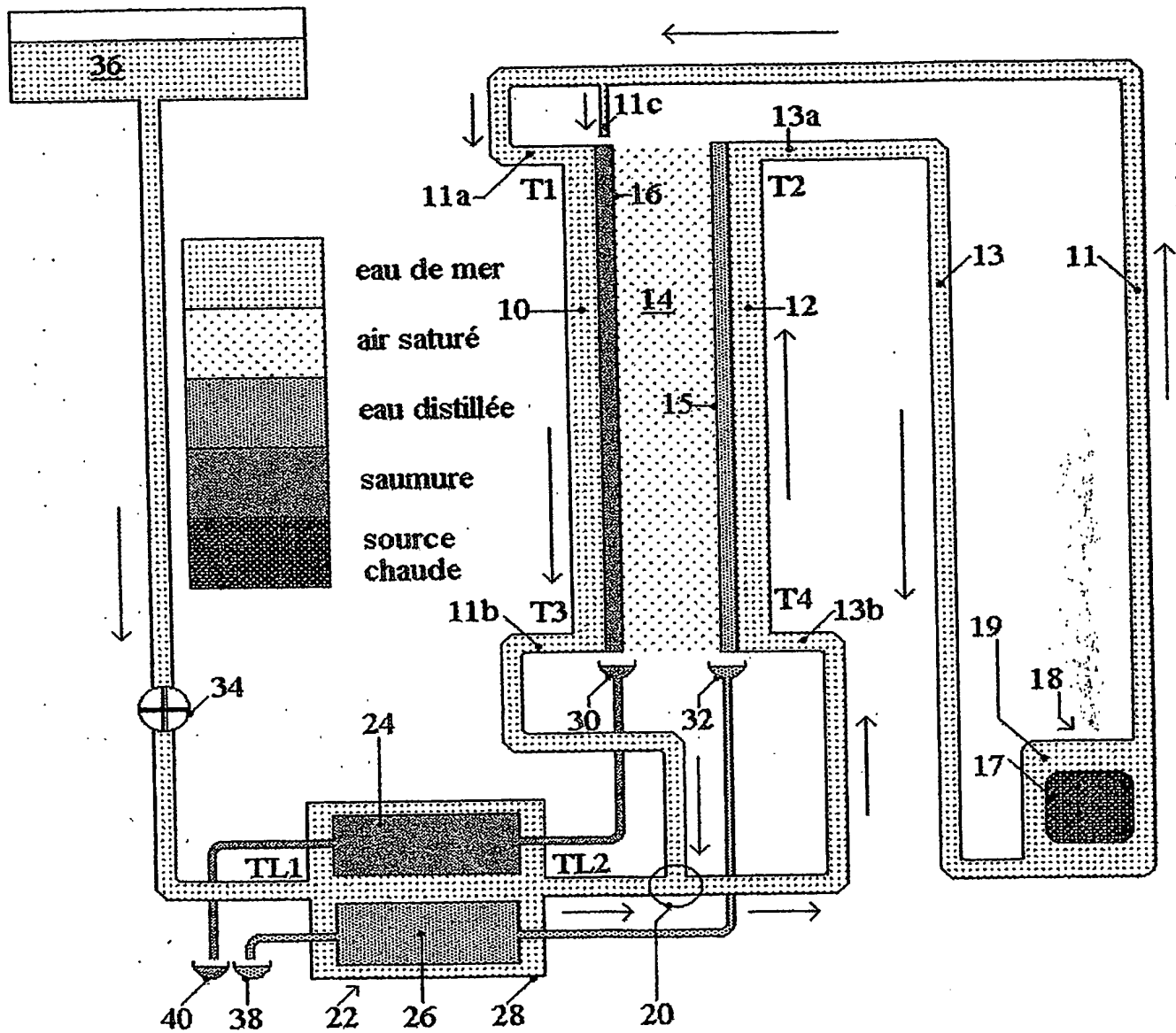


FIGURE 2



**FIGURE 3**



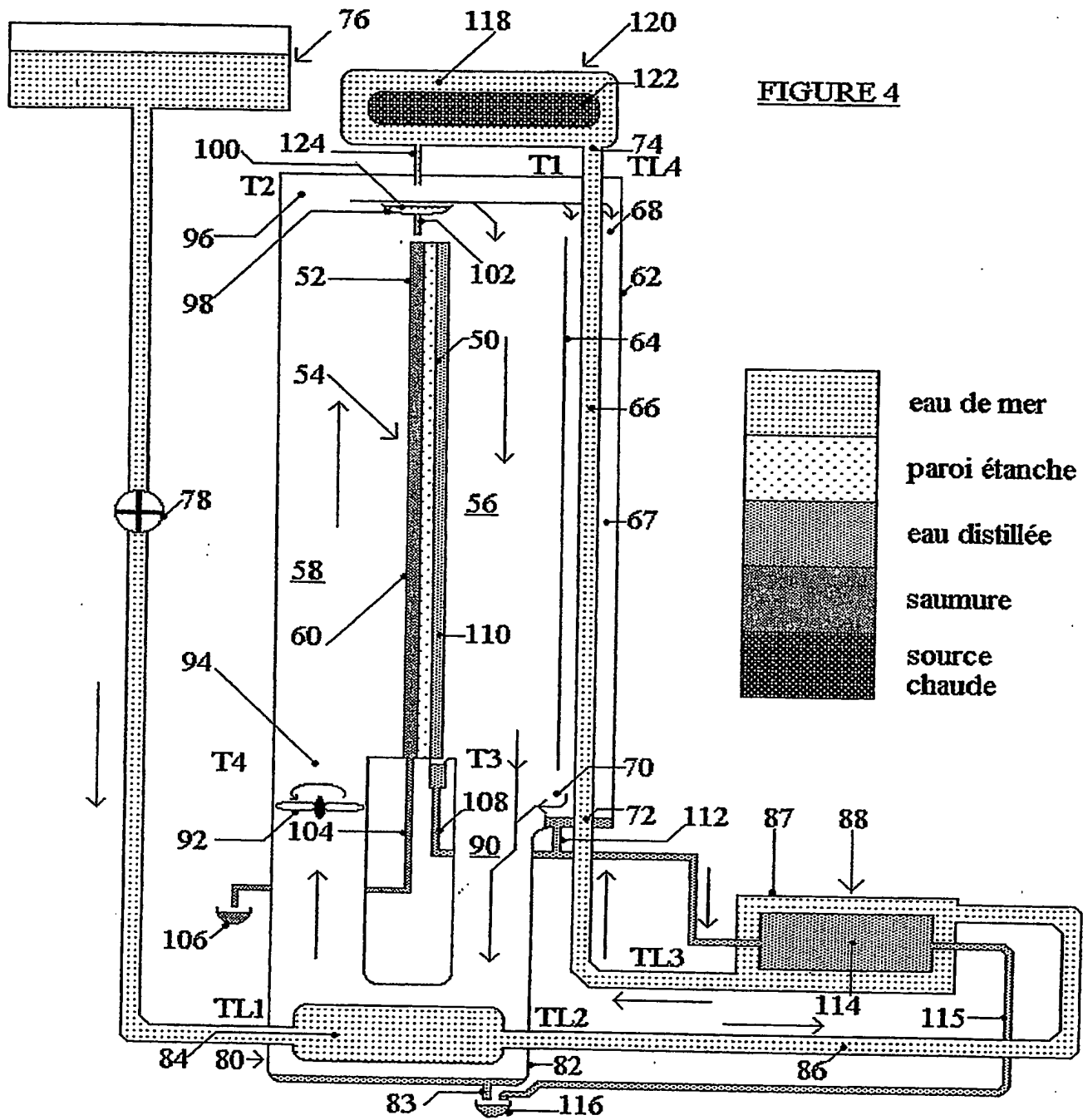


FIGURE 5

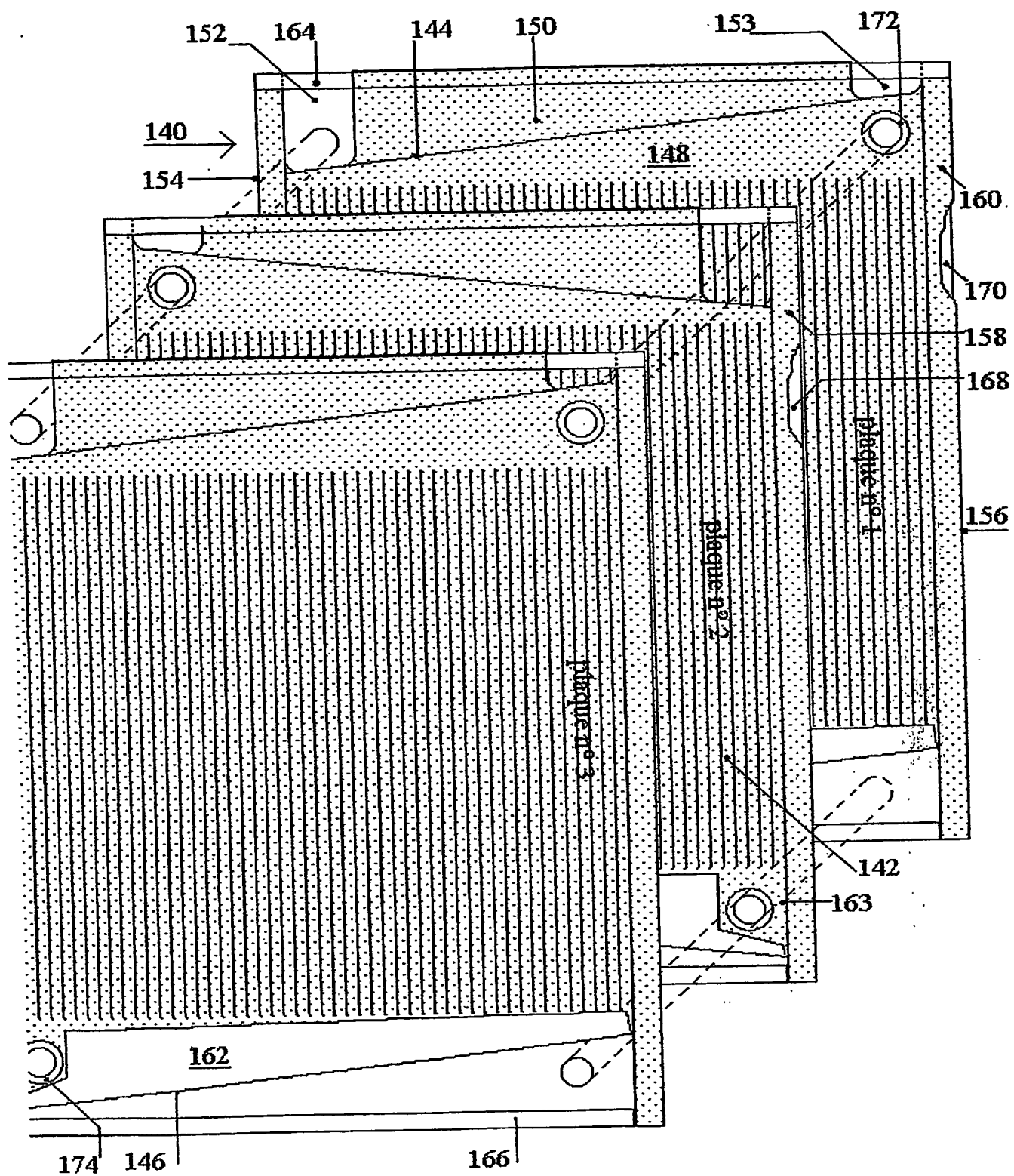
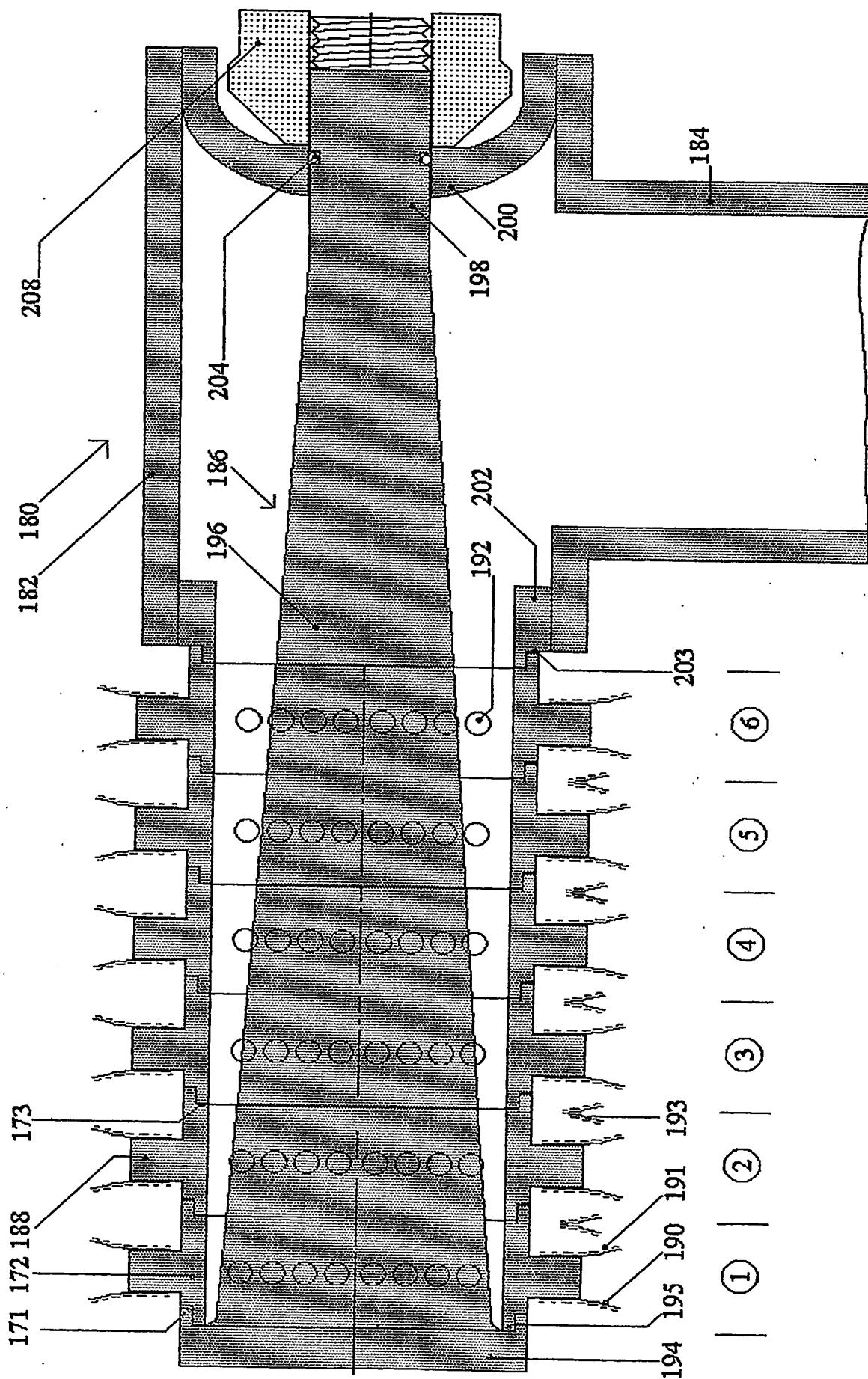
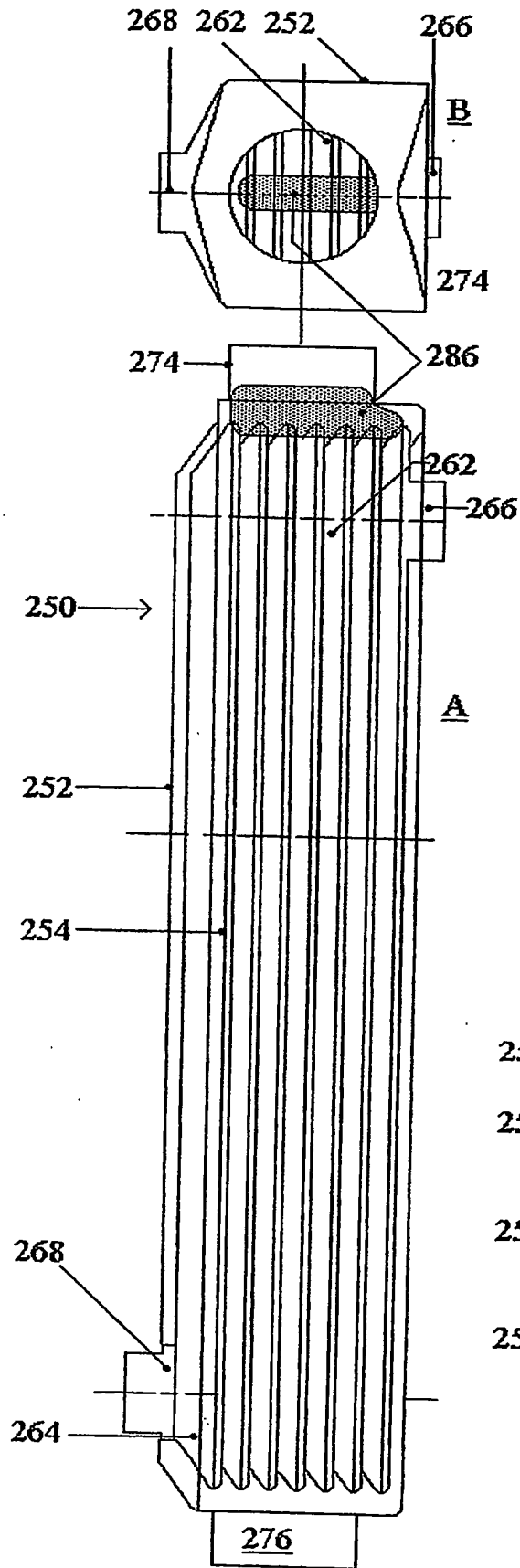




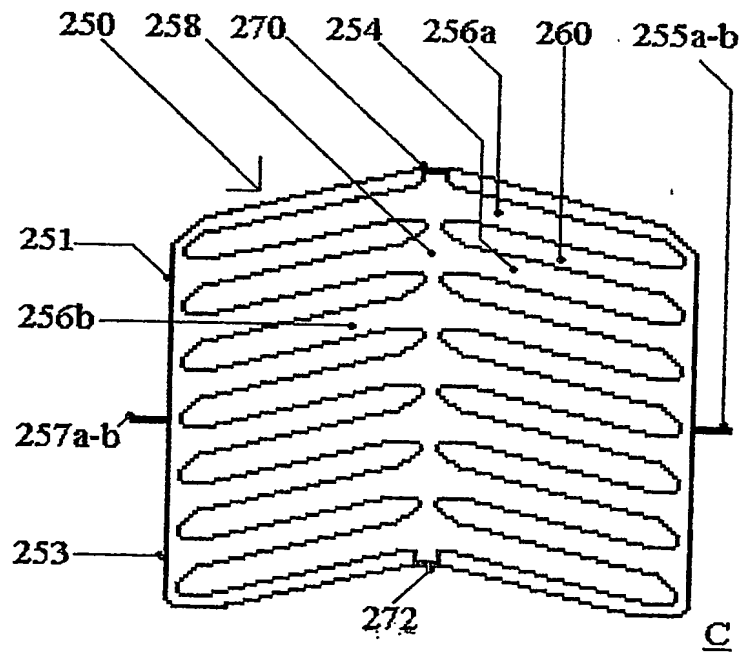
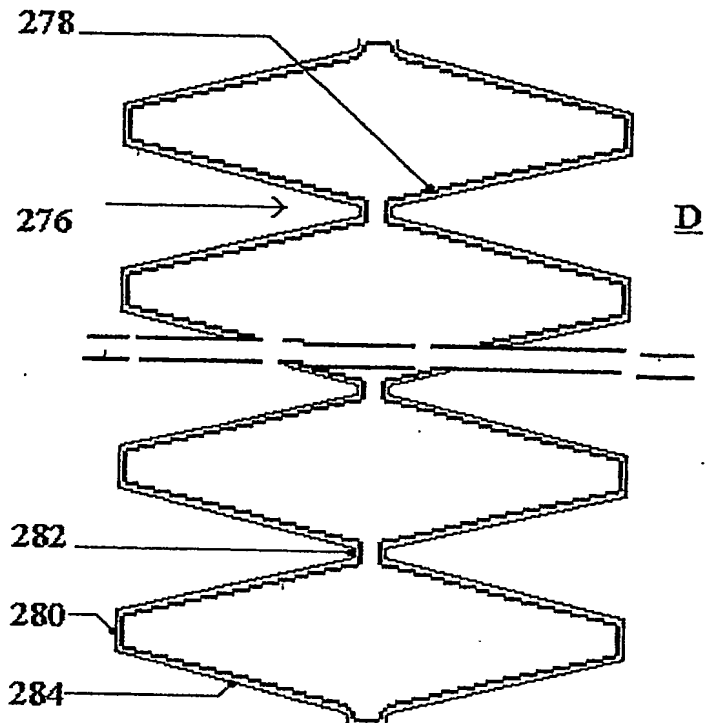
FIGURE 6



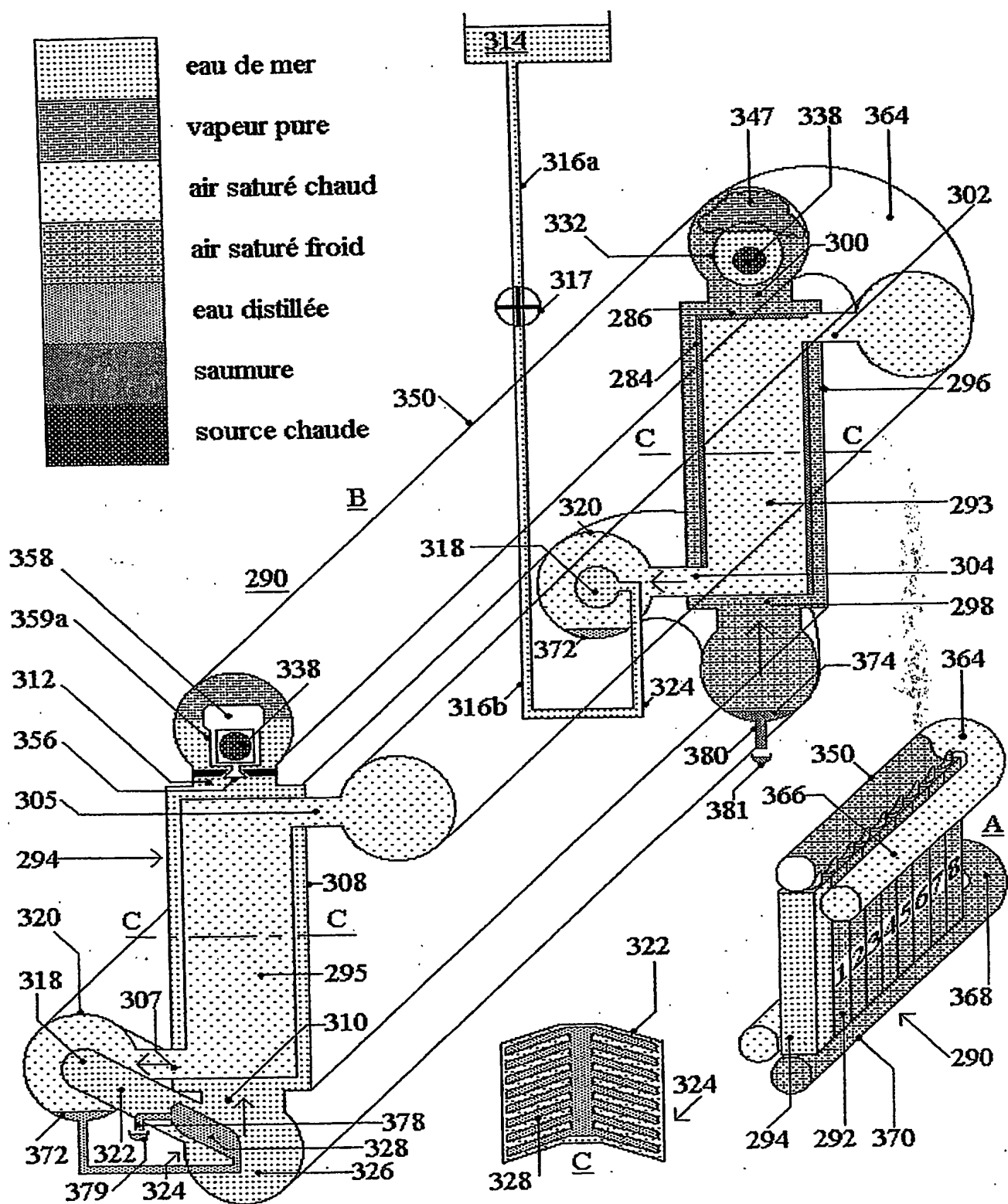




**FIGURE 8**



**source chaude**



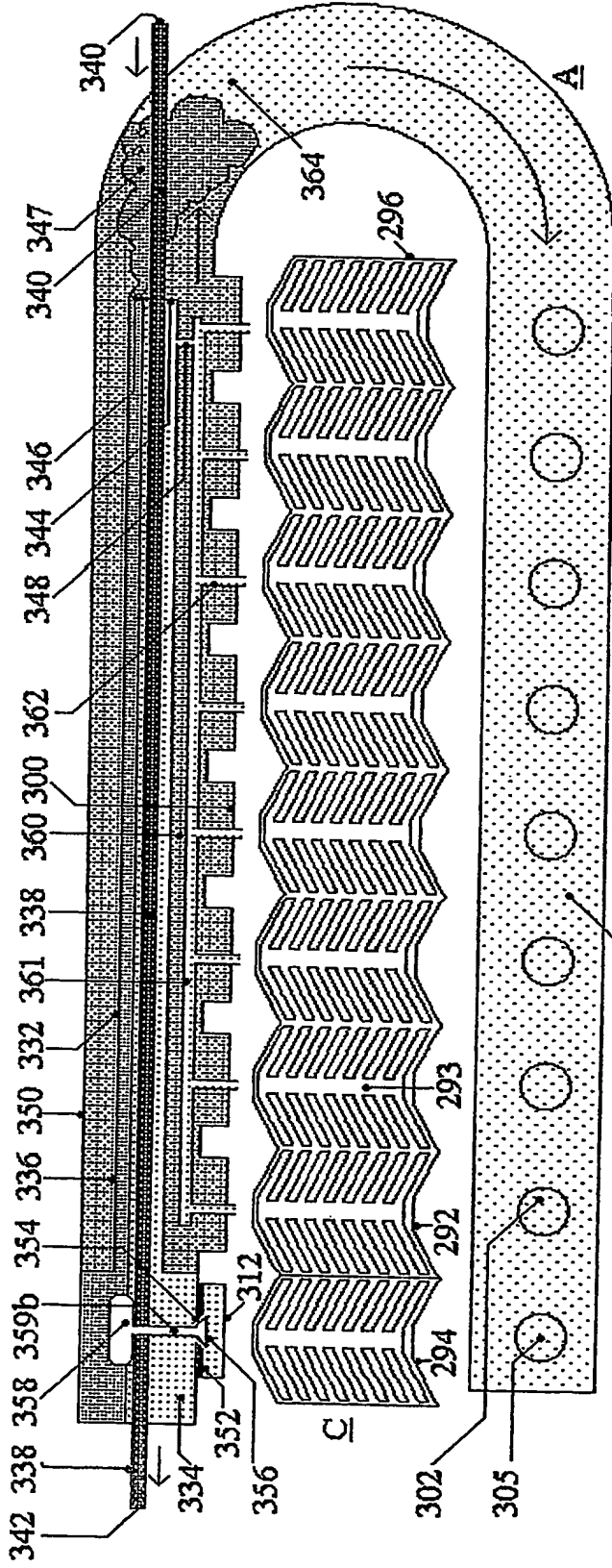
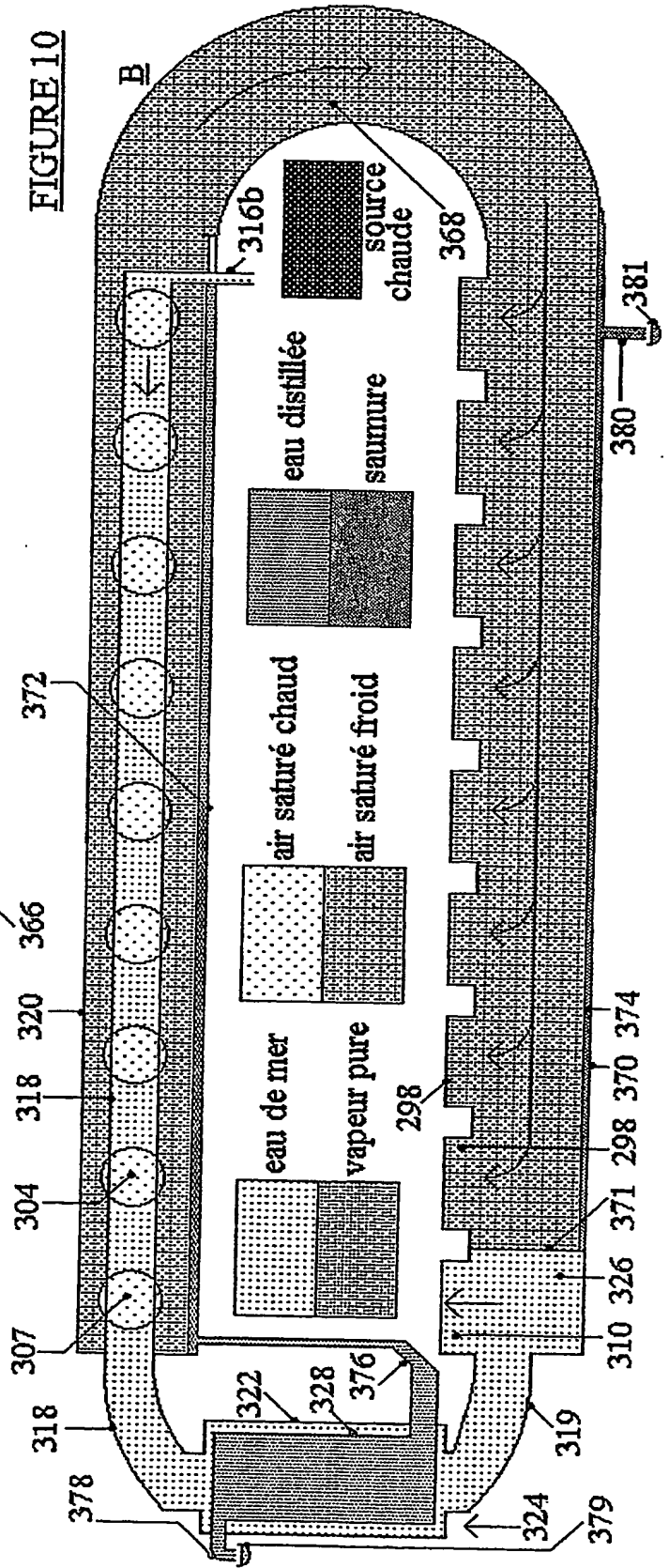


FIGURE 10





reçue le 25/06/03

# BREVET D'INVENTION

## CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI

cerfa  
N° 11235\*02

### DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 06

Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 94 86 54

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1.1.1.

(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W / 260899

Vos références pour ce dossier (facultatif)		
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		0306838
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)  PROCEDES ET APPAREILS DE DISTILLATION NOTAMMENT POUR PRODUIRE DE L'EAU DOUCE		
LE(S) DEMANDEUR(S) :  THE THIRD MILLENNIUM WATER COMPANY		
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) : (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).		
Nom		DOMEN
Prénoms		Jean-Paul
Adresse	Rue	Le Bois Tranché
	Code postal et ville	49320 VAUCHRETIEN
Société d'appartenance (facultatif)		3 MW -
Nom		VIANNAY
Prénoms		Stéphane
Adresse	Rue	La Fontaine - Rue Jean Pontoise
	Code postal et ville	49190 Saint Aubin de Luigné
Société d'appartenance (facultatif)		-
Nom		
Prénoms		
Adresse	Rue	
	Code postal et ville	
Société d'appartenance (facultatif)		
DATE ET SIGNATURE(S) DU (DES) DEMANDEUR(S) OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire) Charles de POIX P.D.G. de 3 MW		

**PCT/FR2004/001373**



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**